



TUGAS AKHIR - TM 141585

**INVESTIGASI KEGAGALAN *U-BOLT CHAIN BUCKET*
ELEVATOR M4135 PT.PETROKIMIA GRESIK**

MILADIA MALINDA
NRP 2112 100 041

Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

**FAILURE INVESTIGATION OF U-BOLT CHAIN BUCKET
ELEVATOR M4135 PT. PETROKIMIA GRESIK**

MILADIA MALINDA
NRP 2112 100 041

Advisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016

INVESTIGASI PENYEBAB KERUSAKAN U-BOLT CHAIN PADA BUCKET ELEVATOR M4135 (Studi Kasus PT.PETROKIMIA GRESIK)

Nama mahasiswa : Miladia Malinda
NRP : 2112 100 041
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir.Witantyo M.Eng.Sc

ABSTRAK

Pabrik II PT. Petrokimia Gresik yang memproduksi pupuk phonska sering mengalami gangguan kerusakan bucket elevator akibat kegagalan berulang pada u-bolt chain. U-bolt chain merupakan rantai yang menempel pada bucket elevator dan berfungsi sebagai penghubung antar bucket elevator dengan marine chains. Kegagalan yang terjadi adalah putusnya u-bolt chain pada bucket elevator.

Tugas akhir ini bertujuan melakukan analisa penyebab kerusakan u-bolt chain menggunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA). Data pendukung berupa gambar kerusakan, downtime history, kondisi aktual operasional dan datasheet teknik didapatkan dari Petrokimia Gresik. Metode analisa u-bolt chain dilakukan secara analitis, makroskopis dan simulasi. Simulasi Finite Element Analysis (FEA) dilakukan untuk mendapatkan stress yang terjadi pada u-bolt chain.

Jenis material u-bolt chain adalah low carbon chromium-molybdenum AISI 4130. Berdasarkan perhitungan analitis, gaya yang diterima rantai sebesar 12,4 kN, jauh di bawah batas gaya yang diizinkan sebesar 377 kN. Hasil simulasi software FEA, tegangan maksimal yang diterima u-bolt chain sebesar 190.69 Mpa. Pembebanan terhadap fatigue, rantai dapat bertahan selama 24 hari. Faktor penyebab kegagalan adalah misalignment antara lubang baut bucket dengan lubang baut chain pada bucket elevator yang

mengakibatkan tegangan awal sebelum pembebanan. Desain baru untuk u-bolt chain dengan mengubah dimensi area link chain lebih besar sebesar 33,5mm yang telah disimulasikan menghasilkan pengurangan tegangan maksimal yang diterima rantai sebesar 98 Mpa. Kenaikan umur chain terhadap beban fatigue sebesar 451 hari dari desain lama dengan pembebanan yang sama tanpa mengubah jenis material.

Kata kunci : U-Bolt Chain, Bucket Elevator, Fatigue Failure

FAILURE INVESTIGATION OF U-BOLT CHAIN BUCKET ELEVATOR M4135

(Case Study: PT.PETROKIMIA GRESIK)

Name : Miladia Malinda
NRP : 2112 100 041
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Ir.Witantyo M.Eng.Sc

ABSTRACT

PT.Petrokimia Gresik frequently interrupted due to the repeated failure of the u-bolt chain bucket elevators. Failure happened is u-bolt chain bucket elevators. This research analyzed and simulates cause of the failure of the chain bucket elevators.

The study has analyzed the cause of failure that using Root Cause Failure Analysis (RCFA) method to design a better system. Supporting data are pictures of damage, downtime history, actual operational conditions, and technical datasheet. Material testing is conducted to find the material used, its mechanical properties and fracture patterns.

Based on analytical calculations, the force received a chain of 12 KN, far below the allowable limit in the amount of 337 KN. Maximum stress received the chain through the simulation of software was 190.69 MPa, below the maximum allowable stress is equal to 560 Mpa. Based on the simulation of the fatigue loading, the chain can last for 24 days, closer to the actual condition of the chain at 21 days. Another factor cause of failure was the misalignment between the screw holes in the bucket with the screw holes in the chain that leads to the initial stress before loading. The new design for dimension to be 33,5mm that has been simulated resulted in a reduction in the maximum stress received by chain to 98 Mpa or 51%. The life of the link u-

bolt chain increased by 451 days or 1879% with the same loading.

Keyword : U-Bolt Chain,Bucket Elevator,Fatigue Failure

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Masalah.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	9
BAB II.....	11
DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Prinsip Kerja <i>Bucket Elevator</i>	11
2.2 Kegagalan Pada <i>Bucket Elevator</i>	16
2.2.1 Keausan.....	16
2.2.2 <i>Fatigue</i>	18
2.2.2.1 Tahap retak awal.....	19
2.2.2.2 Tahap perambatan retak.....	20

2.2.2.3 Patah akhir	21
2.3 Investigasi Kerusakan (<i>Failure Investigation</i>).....	21
2.3.1 <i>Process Analysis, Mapping</i> , dan Flowcharts..	22
2.3.2 <i>Why Analysis</i>	22
2.4 Penelitian Terdahulu.....	24
BAB III	29
METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Metodologi Penelitian	31
3.2.1 Studi Lapangan dan Pengambilan Data	31
3.2.2 Studi Literatur.....	31
3.2.3 Investigasi dengan Metode <i>Root Cause Failure Analysis</i>	32
3.2.3.1 <i>Findings</i>	32
3.2.3.2 <i>Diagnose</i>	32
3.2.4 Analysis	33
3.2.4.1 Perhitungan analitis	33
3.2.4.2 Identifikasi pola patahan	33
3.2.4.3 Pemodelan <i>u-bolt chain bucket elevator</i>	33
3.2.4.5 Simulasi FEA.....	33
3.2.5 Analisa dan Diskusi	33
3.2.6 <i>Conclusion and Recommendation</i>	34
BAB IV	35
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 <i>History Report</i> dan Data Kerusakan <i>Chain</i>	35
4.1.1 <i>History Report</i> Kerusakan	35

4.1.2 Foto-foto kerusakan <i>Chain</i>	39
4.1.3 Struktur Material <i>U-bolt Chain</i>	40
4.1.4 Kondisi Aktual Operasional	42
4.2 Posibilitas Penyebab Kegagalan <i>U-bolt Chain</i> pada <i>Bucket Elevator</i> Pabrik II PT.Petrokimia Gresik	42
4.3 Analisa Properti Material <i>U-bolt Chain</i>	43
4.4 Analisa Posibilitas Penyebab Kegagalan <i>U-bolt Chain</i> pada <i>Bucket Elevator</i> Pabrik II PT. Petrokimia Gresik	45
4.4.1 <i>Overload</i>	45
4.4.1.1 Perhitungan Pendekatan <i>Force</i> yang Teraplikasi pada <i>U-bolt Chain</i>	45
4.4.2 <i>Fatigue</i>	50
4.4.2.1 Foto Makroskopik	50
4.4.3 Simulasi <i>Finite Elemen Analysis</i>	54
4.4.3.1 Proses Pencarian Tegangan Maksimal dengan Simulasi.....	54
4.4.3.2 Sifat Material.....	56
4.4.3.3 Hasil Simulasi.....	57
4.4.3.4 Analisa Statik Struktural Metode FEA	57
4.4.3.5 <i>Meshing</i>	58
4.4.3.6 Tegangan dan Regangan.....	59
4.4.3.7 Simulasi Kondisi Operasional <i>U-bolt Chain</i>	61
4.4.3.8 Penentuan Tegangan Lelah.....	65
4.4.3.9 Umur Tegangan Lelah	67
4.4.3 <i>Misalignment</i>	69

4.4.4 <i>Shockload</i>	71
4.4.5 Kesalahan Fabrikasi	71
4.5 Diskusi Hasil Analisa	72
4.6 Redesain <i>Link Chain</i>	73
4.6.1 Simulasi Redesain <i>U-bolt Chain</i> 1	73
4.6.3 Simulasi Redesain <i>U-bolt Chain</i> 2	75
BAB V	79
KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN 1	85
LAMPIRAN 2	86
BIODATA PENULIS	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jumlah Produksi 2015 di PT.Petrokimia Gresik ^[1]	1
Tabel 1. 2 Data <i>Chain Bucket Elevator</i> pada tahun 2011-2012 ^[1]	4
Tabel 2. 1 Tabel standar jarak antar <i>bucket</i> ^[2]	14
Tabel 2. 2 Bentuk penampang patahan karena kelelahan ^[5]	19
Tabel 4. 1 Data <i>sheet</i> 2015-2016 gangguan pada <i>bucket elevator</i> ^[11]	36
Tabel 4. 2 Komposisi kimia AISI 4130 ^[16]	43
Tabel 4. 3 <i>Physical Properties</i> AISI 4130 ^[13]	44
Tabel 4. 4 <i>Mechanical Properties</i> AISI 4130 ^[13]	44
Tabel 4. 5 Spesifikasi data <i>bucket elevator</i>	45
Tabel 4. 6 Tabel siklus tegangan baja karbon	56
Tabel 4. 7 <i>Property Material</i> FEA AISI 4130	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram alir proses produksi phonska	3
Gambar 1. 2 <i>Bucket elevator</i> M4135	3
Gambar 1. 3 <i>U-Bolt chain</i> putus ^[1]	7
Gambar 2. 1 Sistem pemasukan <i>bucket elevator</i> ^[2]	11
Gambar 2. 2 Sistem pengeluaran <i>bucket elevator</i> ^[2]	12
Gambar 2. 3 Jenis <i>bucket</i> untuk <i>bucket elevator</i> ^[2]	13
Gambar 2. 4 Nilai faktor tegangan pada rantai saat melingkar pada sproket ^[3]	16
Gambar 2. 5 Tiga macam tipe kurva keausan ^[3]	16
Gambar 2. 5 Tiga macam tipe kurva keausan ^[3]	17
Gambar 2. 6 <i>Specific wear rate</i> pada material logam ^[3]	18
Gambar 2. 6 <i>Specific wear rate</i> pada material logam ^[3]	18
Gambar 2. 7 Kurva S-N <i>fatigue</i> ^[4]	18
Gambar 2. 6 <i>Specific wear rate</i> pada material logam ^[3]	20
Gambar 2. 8 Model Pengintian retak oleh <i>Wood</i> ^[6]	20
Gambar 2. 9 Mekanisme Perambatan retak ^[6]	20
Gambar 2. 9 Mekanisme Perambatan retak ^[6]	21
Gambar 2. 10 Diagram alir Prosedural RCFA secara umum ^[7]	23
Gambar 2. 6 <i>Specific wear rate</i> pada material logam ^[3]	24
Gambar 2. 11 <i>Universal testing machine</i> ^[9]	25
Gambar 2. 12 Grafik hasil pengujian <i>strip</i>	25
Gambar 2. 13 Pemodelan dengan <i>software Ansys</i>	26
Gambar 2. 14 Pengujian FEA dengan <i>Ansys</i>	26
Gambar 2. 15 Hasil pengujian SEM ^[9]	27
Gambar 2. 16 Pemodelan rantai dengan <i>software FEA</i>	28
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian	30
Gambar 4. 1 <i>U-bolt chain</i> pada <i>bucket elevator</i>	39
Gambar 4. 2 Kerusakan <i>u-bolt chain</i>	40
Gambar 4. 3 Struktur <i>u-bolt chain</i>	41
Gambar 4. 4 Struktur <i>marine chain</i>	41
Gambar 4. 5 <i>Drawing 3D u-bolt chain</i>	49
Gambar 4. 6 Bentuk patahan ^[14]	51
Gambar 4. 7 Analisa retakan secara umum ^[15]	52

Gambar 4. 8 (a) Pola patahan, (b) Analisa makroskopik...	53
Gambar 4. 9 <i>Assembly u-bolt chain software inventor</i>	55
Gambar 4. 10 3D <i>u-bolt</i> yang sudah di <i>software FEA</i>	55
Gambar 4. 11 Analisa statik struktural permodelan <i>FEA</i>	58
Gambar 4. 12 <i>Meshing u-bolt chain</i> dengan <i>FEA</i>	58
Gambar 4. 13 <i>Equivalent Stress u-bolt chain</i>	59
Gambar 4. 14 <i>Equivalent strain u-bolt chain</i>	60
Gambar 4. 15 <i>Total Deformation u-bolt chain</i>	61
Gambar 4. 16 Analisa kondisi sebenarnya.....	62
Gambar 4. 17 <i>Meshing u-bolt chain</i>	62
Gambar 4. 18 <i>Equivalent (von-Mises) Stress</i>	63
Gambar 4. 19 <i>Equivalent (von-Mises) Strain</i>	63
Gambar 4. 21 <i>Total deformation</i>	64
Gambar 4. 22 <i>Amplitudo fully reversed</i>	66
Gambar 4. 23 Teori Soderberg.....	66
Gambar 4. 24 Pembebanan lokal <i>u-bolt</i>	67
Gambar 4. 25 <i>Life cycle u-bolt chain FEA</i>	68
Gambar 4. 26 <i>Life cycle u-bolt chain</i>	68
Gambar 4. 27 <i>Misalignment</i>	71
Gambar 4. 28 Redesain <i>link chain 1</i>	74
Gambar 4. 29 <i>Equivalent Stress Redesain 1</i>	74
Gambar 4. 30 <i>Life time Redesain 1</i>	75
Gambar 4. 31 Redesain <i>link chain 2</i>	76
Gambar 4. 32 <i>Equivalent stress pada u-bolt chain</i>	76
Gambar 4.33 <i>Life time Redesain 2</i>	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Gambar teknik bucket elevator M4135 PT.Petrokimia Gresik	85
Lampiran 2	(a) Gambar teknik <i>u-bolt chain bucket elevator</i> M4135 PT.Petrokimia Gresik	86
	(b) Gambar teknik <i>marine chain bucket elevator</i> M4135 PT.Petrokimia Gresik	87

LEMBAR PENGESAHAN
INVESTIGASI KERUSAKAN U-BOLT CHAIN PADA
BUCKET ELEVATOR
(STUDI KASUS: PABRIK II PT PETROKIMIA
GRESIK)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S – 1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MILADIA MALINDA
Nrp. 2112 100 041

Disetujui Oleh Pembimbing dan Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. (Pembimbing I)
(NIP: 196303141988031002)
2. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT. (Penguji I)
(NIP: 198604012015041001)
3. Dr.Eng. Sutikno, ST, MT. (Penguji II)
(NIP: 197407032000031001)
4. Indra Sidharta, ST., MSc. (Penguji III)
(NIP: 198006192006041004)

SURABAYA
Juli, 2016

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk di Indonesia. Pupuk yang diproduksi adalah ZA, urea, fosfat, NPK, ZK dan pupuk organik. PT. Petrokimia Gresik juga menghasilkan berbagai produk lain seperti amoniak, asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (P_2O_5), alumunium flourida dan *cement retarder*. Pupuk phonska merupakan salah satu jenis pupuk NPK yang diproduksi di pabrik II PT.Petrokimia Gresik.

Tabel 1. 1 Jumlah Produksi 2015 di PT.Petrokimia Gresik^[1]

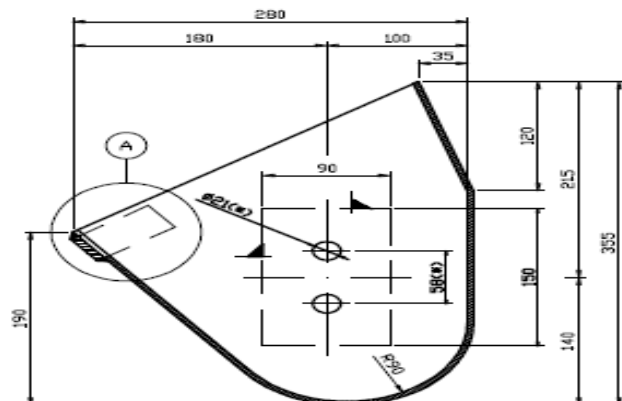
URAIAN	Satuan	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	TOTAL
PRODUKSI														a
PHONSKA I - PHONSKA	ton	45.000	28.000	37.000	40.000	33.000	27.000	32.000	32.000	30.000	32.000	30.000	23.000	389.000
PHONSKA II - PHONSKA	ton	54.000	41.000	54.000	58.000	18.000	14.000	53.000	46.000	51.000	53.000	51.000	53.000	536.000
PHONSKA II- NPK EXPORT	ton	-	-	-	-	37.000	36.000	-	-	-	-	-	-	73.000
PHONSKA III- PHONSKA	ton	37.000	38.000	52.000	53.000	50.000	51.000	29.000	29.000	-	29.000	-	53.000	472.000
PHONSKA III- NPK EXPORT	ton	-	-	-	-	-	-	23.000	23.000	-	-	-	-	46.000
PF I - SP 36	ton	16.000	28.000	46.000	45.000	46.000	-	-	45.000	44.000	45.000	44.000	45.000	404.000

Tabel 1.1 menunjukkan jumlah produksi phonska tahun 2015 di pabrik II PT.Petrokimia Gresik. Pabrik II PT.Petrokimia Gresik menghasilkan produk pupuk dengan kandungan *phosphate* seperti Phonska, NPK, dan ZK. Proses produksi pabrik II secara umum dioperasikan dengan metode *solid-solid mixing*. Proses *solid-solid mixing* adalah proses pembuatan pupuk hanya berupa campuran bahan baku padat. Pada gambar 1.1 dijelaskan diagram alir proses produksi phonska. Proses *solid mixing* pertama yaitu *prescrub* asam fosfat yang digranulator *solid* dan dicampur dengan *mix acid* (asam fosfat, asam sulfat dan amonia) pada penetralisir *tank*. Proses selanjutnya butiran dikeringkan di *dryer*,

mix acid disprai, selanjutnya discrining sesuai ukuran butir kemudian didinginkan. Proses terakhir pupuk granula perlu dikoating supaya tidak menggumpal.

Komponen pada pabrik II PT.Petrokimia Gresik yang cukup kritis adalah *bucket elevator* dikarenakan sering terjadi *u-bolt chain* yang putus akibat beban dari *bucket* dan *marine chain* yang saling terhubung. *Bucket elevator* memiliki tiga fungsi yaitu pertama sebagai pembawa material *prescrub* yang merupakan material basah yang akan di granulator, kedua, sebagai alat pembawa material curah berupa *granula* untuk dikeringkan dan terakhir sebagai alat pembawa material curah yang akan dipolising.

Gambar 1.2 merupakan gambar dan ukuran *bucket elevator* M4135 tipe *deep bucket* pada pabrik II PT.Petrokimia Gresik (gambar teknik pada lampiran 1). Material *bucket elevator* pabrik II PT.Petrokimia Gresik adalah *Carbon Plate A283*, memiliki 3 tipe jenis *bucket*. Tipe pertama yaitu M4135, jumlah *bucket* 73 dan daya motor 18,5kW. Tipe kedua yaitu M4117 jumlah *bucket* 87 dan daya motor 11Kw dan tipe terakhir M4110 dengan jumlah *bucket* 67 dan daya motor 7,5 kW.



Tabel 1.2 menunjukkan gangguan yang terjadi pada *chain bucket elevator* pada tahun 2011-2012. Data menunjukkan kerusakan dengan frekuensi terbanyak putusnya *u-bolt chain* terjadi pada *bucket* 18 M4135 dan M3135. Berdasarkan durasi *downtime* akibat *u-bolt chain* putus menyebabkan durasi *downtime* sebesar 40 jam 25 menit pada tahun 2015. Pergantian *u-bolt chain* terbanyak terjadi pada bulan Mei 2015 pada *bucket elevator* M 4135. Rantai *u-bolt* diproduksi PT.Indonesia Magma Chain dengan spesifikasi material AISI 4130. Rantai *u-bolt* diharapkan mampu bertahan sampai sekitar 1 tahun, namun pada kenyataannya, diperkirakan *u-bolt* hanya berumur rata-rata 2-3 bulan.

Tabel 1. 2 Data *Chain Bucket Elevator* pada tahun 2011-2012^[1]

NO	EQU IP'T	U N I T	JENI S CHA IN	TY PE / M ER K	JUM LAH	TGL PASA NG (Bln/T gl/Thn)	PER KIR AAN LIF ETI ME	KET
1	18M 2110	N P K I I	MAR INE	Da vai ne	170 link	5/11/2 011 WO.5 16980 3	3 tahun	
2	18M 2115	N P K I I	MAR INE	Da vai ne	172 + 4 link	5/11/2 011 WO.5 16984 2	3 tahun	dieval uasi untuk pening katan kapasit as

3	18M 2117	N P K I I	MAR INE	Da vai ne	205 link	5/11/2 011 WO.5 16985 0	3 tahun	
4	18M 2121 -2	N P K I I	MAR INE	Da vai ne	205 link	5/11/2 011 WO.5 16985 6	3 tahun	
5	18M 3110	N P K I I I	MAR INE	Da vai ne DV T 120 - 140	170 link	3/29/2 012 WO.5 27174 4	2 tahun	
6	18M 3115	N P K I I I	TUB ULA R	Hit ach i	172+ 4 link	3/29/2 012	2 tahun	chain univer sal spare, penga daan 200 biji
7	18M 3117	N P K I I I	MAR INE	Da vai ne	205 link	10/10/ 2011 WO.5 21977 2	2 tahun	

8	18M 3135	N P K I I I	MAR INE	Da vai ne	160 link	1/11/2 012 WO.5 24923 4	2 tahun	U-Bolt sering putus
9	18M 4110	N P K I V	MAR INE	Da vai ne	170 link	2/29/2 012 WO.5 25788 2	3 tahun	
10	18M 4115	N P K I V	TUB ULA R	Hit ach i	172 +4 link	3/1/20 12	4 tahun	chain univer sal spare, penga daan 200 biji
11	18M 4117	N P K I V	MAR INE	Da vai ne	205 link	11/25/ 2011 WO.5 23681 0	3 tahun	
12	18M 4135	N P K I V	MAR INE	Da vai ne	160 link	2/29/2 012 WO.5 25789 1	3 tahun	U-Bolt sering putus

Gambar 1.3 menunjukkan *u-bolt* yang putus. *U-bolt chain* merupakan rantai yang menempel pada *bucket elevator* dan sebagai penghubung antar *bucket elevator* dengan *marine chains*. Pemasangan *u-bolt chain* pada *bucket elevator* menggunakan sistem *lock* dengan nilon sehingga rapat dan kuat. *U-bolt chain* putus akibat menerima gaya tarik yang besar dari *marine chains* dan *bucket* yang mengangkat material yang basah. Melihat ciri-ciri bentuk patahan secara makroskopik yang halus, memperlihatkan jenis patahan transgranular(memotong butir) diperkirakan *u-bolt* mengalami *fatigue* sehingga putus. (Gambar teknik dan spesifikasi *u-bolt chain* dapat dilihat pada lampiran 2.)



Gambar 1. 3 *U-Bolt chain* putus^[1]

Dengan pertimbangan tersebut, PT.Petrokimia Gresik berencana untuk menganalisa faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan *u-bolt chain*, sehingga nantinya dapat ditemukan solusi untuk meningkatkan umur pakai *u-bolt chain bucket elevator* sesuai harapan.

1.2 Perumusan Masalah

Putusnya *u-bolt chain* pada *chain bucket elevator* M.4135 terlalu sering terjadi dan dianggap tidak wajar. Pada tugas akhir ini sistem *bucket elevator* M4135 akan dievaluasi untuk mencari penyebab putusnya rantai.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kerja *bucket elevator* M 4135 pada unit pabrik II PT.Petrokimia Gresik untuk mengetahui dan memahami variasi beban yang terjadi pada *u-bolt chains*.
2. Mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan *u-bolt chains* unit pabrik II PT.Petrokimia Gresik .
3. Memberikan rekomendasi untuk mencegah atau memperlambat kerusakan *u-bolt chains* unit Pabrik II PT.Petrokimia Gresik .

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah *Data Sheet Downtime* 2015-2016 pada Pabrik II PT. Petrokimia Gresik
2. Analisa dan evaluasi yang dilakukan pada *bucket elevator* adalah beban pada rantai, jenis material yang dibawa oleh *bucket*, sistem penggerak rantai dan sistem *feeder* yang kemungkinan menyebabkan beban selain berat *bucket*.
3. Analisa *stress* yang terjadi pada *u-bolt* dilakukan dengan metode FEA.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perusahaan mendapatkan informasi terkait dengan penyebab kegagalan pada *u-bolt chain bucket elevator* .

2. Dapat memberikan solusi kepada pihak pemeliharaan pabrik II PT.Petrokimia Gresik mengenai permasalahan diatas.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang dibuatnya penelitian ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung analisa permasalahan pada penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan analisa RCFA.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data kerusakan *chain*, menganalisa kemungkinan penyebab kegagalan secara analitis, makroskopis dan simulasi. Melakukan pembahasan hasil simulasi dan analisa diskusi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari tugas akhir ini beserta saran dari penulis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

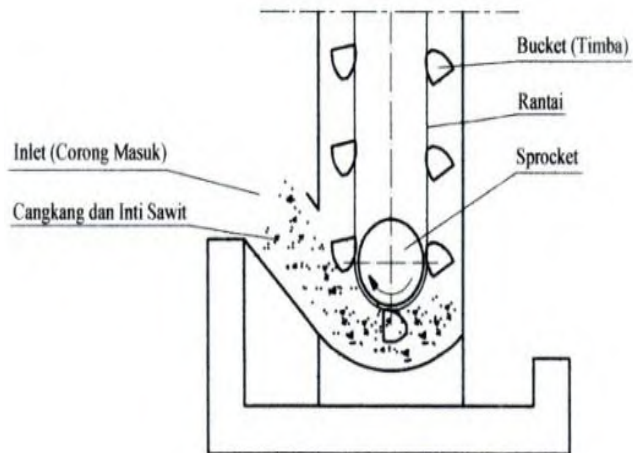
DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja *Bucket Elevator*

Bucket elevator merupakan alat pengangkut material curah yang ditarik oleh sabuk atau rantai tanpa ujung dengan arah yang biasanya *vertical*, serta pada umumnya ditopang oleh casing atau rangka. *Bucket elevator* merupakan jenis alat pengangkut yang memanfaatkan timba-timba yang tersusun dengan jarak antar timba yang seragam dan beraturan. Dalam melakukan kerjanya *bucket elevator* memiliki 2 sistem kerja, sistem pemasukan dan sistem pengeluaran.^[2]

- Sistem pemasukan

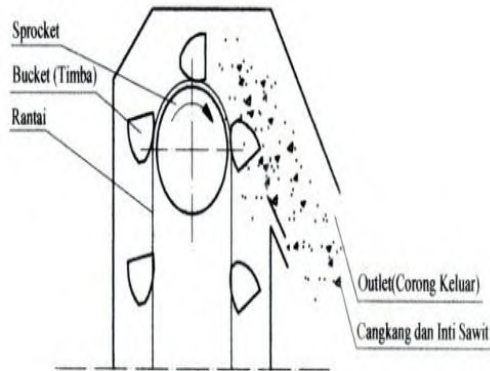
Sistem pemasukan pada *bucket elevator* pada umumnya dirancang tergantung pada material yang diangkut. Pada umumnya sistem yang dipakai yaitu penyekopan material pada timba. Sistem pemasukan ditunjukkan oleh gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sistem pemasukan *bucket elevator*^[2].

- Sistem pengeluaran

Sistem pengeluaran pada *bucket elevator* pada umumnya menggunakan prinsip sentrifugal, dimana material tersebut akan keluar ke tempat yang telah diperhitungkan. Melalui gaya gravitasi material akan jatuh pada wadah penampungan yang telah disiapkan. Sistem pengeluaran pada *bucket elevator* ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Sistem pengeluaran *bucket elevator* ^[2].

Bucket elevator khusus untuk mengangkut berbagai macam material berbentuk serbuk, butiran-butiran kecil dan bongkahan. Sedangkan berdasarkan sistem transmisi *bucket elevator* dibedakan menjadi dua macam yaitu ^[2]:

1. Menggunakan transmisi sabuk

Bucket elevator menggunakan sabuk (*belt*) yang harus diperhatikan adalah:

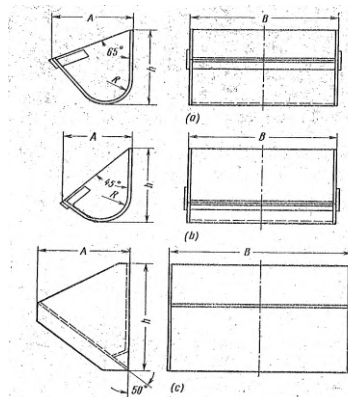
- i) Faktor material yang diangkut. Bila material yang diangkut terlalu tinggi maka sabuk akan mengalami pemuaian panjang sehingga kekuatannya akan menurun.

- ii) Faktor transmisi yang dihantarkan. Jika material yang dihantarkan berupa material serbuk maka ada kemungkinan serbuk halus masuk ke sisi permukaan *puley* sehingga dapat terjadi slip pada *puley* dan *belt*.
 - iii) Faktor perawatan *belt* lebih banyak memerlukan perawatan akibat robek dan suhu operasi yang tinggi.
2. Menggunakan transmisi rantai

Bucket elevator yang menggunakan rantai yang harus diperhatikan adalah:

- i) Kemungkinan terjadi muai panjang akibat suhu tinggi material relatif kecil.
- ii) Kemungkinan terjadi slip pada sistem transmisi sangat kecil karena roda penggerak menggunakan *sprocket* sehingga daya motor diteruskan dengan baik.
- iii) Perawatan lebih sedikit karena kemungkinan terjadi kerusakan rantai relatif kecil.
- iv) Umur pemakaian lebih lama.

Ada tiga jenis *bucket* yang biasanya digunakan dalam *bucket elevator*, jenis tersebut antara lain *deep bucket* yang ditunjukkan oleh gambar 2.3 a. *Round – bottom shallow bucket* yang ditunjukkan pada gambar 2.3 b, dan *V – type* yang ditunjukkan pada



Gambar 2. 3 Jenis *bucket* untuk *bucket elevator*^[2].

Deep bucket elevator dengan sudut *bucket* 65° digunakan untuk beban curah yang berbentuk tepung atau butiran kecil yang kering, tidak lengket, dan tidak abrasive. *Round bottom shallow bucket elevator* dengan sudut *bucket* 45° digunakan untuk memindahkan material yang sama dengan *deep bucket*, tetapi yang mempunyai sifat lengket. *Vee – bucket elevator* digunakan untuk material curah dengan ukuran butiran yang cukup besar atau material yang *abrasive*^[2].

Kapasitas *bucket elevator* dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$Q = 3,6 \cdot \frac{i_o}{a} \cdot v \cdot \gamma \cdot \varphi \text{ (ton/jam)} \quad (2.1)$$

Apabila kapasitas Q diketahui maka persamaan 2.1 akan menjadi persamaan 2.2.

$$\frac{i_o}{a} = \frac{Q}{3,6 \cdot v \cdot \gamma \cdot \varphi} \text{ (l/m)} \quad (2.2)$$

Isi dan jarak bucket dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tabel standar jarak antar *bucket*.^[2]

Bucket width B, mm	Deep buckets			Shallow buckets		V-buckets		
	Bucket spacing a, mm	Bucket capacity y io, l	io/a l/m	Bucket capacity y io, l	io/a l/m	Bucket spacing k, mm	Bucket capacity y io, l	io/a l/m
135	300	0,75	2,5	-		-	-	-
160	300	1,1	3,67	0,65	2,17	160	1,5	9,4
200	300	2	6,67	1,1	3,67	-	-	-
250	400	3,2	8	2,6	6,5	200	3,6	18

350	500	7,8	15,6	7	14	250	7,8	31,2
450	600	14,5	24,2	15	25	320	16	50
600	-	-	-	-	-	400	34	85
750	-	-	-	-	-	500	67	134
900	-	-	-	-	-	630	130	206

Tegangan maksimal pada *chain* dapat dicari dengan menjumlahkan semua tahanan disetiap bagian *bucket elevator* yang bergerak. Untuk *bucket elevator vertical* pada gerak yang teratur dapat didekati dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$S_{max} = 1.15. H(q + k_1. q_o) \quad (2.3)$$

Dimana:

- H : Tinggi elevasi pemindahan beban (m)
- q : Berat beban per meter (kg/m)
- q_o : Berat per meter rantai dan *bucket* (kg/m)
- k₁ : Faktor yang diberikan karena adanya tegangan dikarenakan adanya tahanan pada saat rantai / belt melingkar pada sprocket / pulley atas dan bawah, termasuk pada saat *scoopeng – up material*.

Besarnya nilai q dan q_o dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5.

$$q = \frac{Q}{2.5} \quad (2.4)$$

$$q_o = k_2. Q \quad (2.5)$$

Untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan *bucket elevator* menggunakan persamaan 2.6.

$$Nm = \frac{9,81}{3,6.1000} (1,15 + k_3. k_2. v) \frac{1}{\eta_t} \quad (2.6)$$

Dengan η_t merupakan efisiensi transmisi. Nilai k_1 , k_2 dan k_3 dilihat pada gambar 2.4.

Conveying capacity Q , tons per hour	Elevator type					
	Belt		Single chain		Twin chain	
	Type of buckets (see Fig. 154)					
	Deep and shallow	V-bucket	Deep and shallow	V-bucket	Deep and shallow	V-bucket
	Factor K_2					
Up to 10	0.6	—	1.1	—	—	—
10 to 25	0.5	—	0.8	1.1	1.2	—
25 to 50	0.45	0.6	0.6	0.85	1.0	—
50 to 100	0.40	0.55	0.5	0.7	0.8	1.1
Over 100	0.35	0.5	—	—	0.6	0.9
Factors						
K_1	2.5	2	1.5	1.25	1.5	1.25
K_3	1.6	1.1	1.3	0.8	1.3	0.8

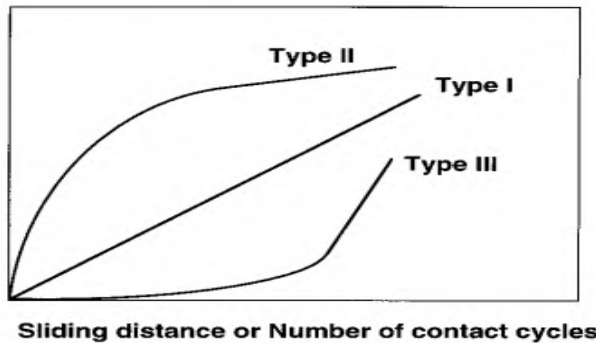
Gambar 2. 4 Nilai faktor tegangan pada rantai saat melingkar pada sproket.^[2]

2.2 Kegagalan Pada *Bucket Elevator*

2.2.1 Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan atau suatu keadaan yang memburuk dari suatu permukaan kerja akibat dari pemakaiannya (gesekan). Hal ini umumnya diakibatkan oleh adanya gesekan antar permukaan padatan dan terjadi pada berbagai macam kondisi kerja. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan yang disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat

mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam tipe keausan bisa dilihat pada gambar berikut ini.

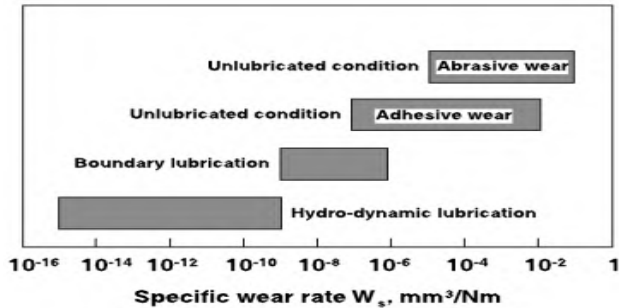


Gambar 2. 6 Tiga macam tipe kurva keausan^[3].

Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak sliding atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 Tipe I menunjukkan nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya laju keausannya tinggi lalu keausannya konstan pada laju rendah, tipe keausan ini sering diamati pada jenis material logam, tipe III menunjukkan bencana besar peralihan dari laju keausan rendah menuju laju keausan yang begitu tinggi, seperti kelelahan patah (*fatigue fracture*), ini terjadi pada material jenis keramik.

Pada umumnya, keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volum keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan (*hardness*) dari *material* yang aus.

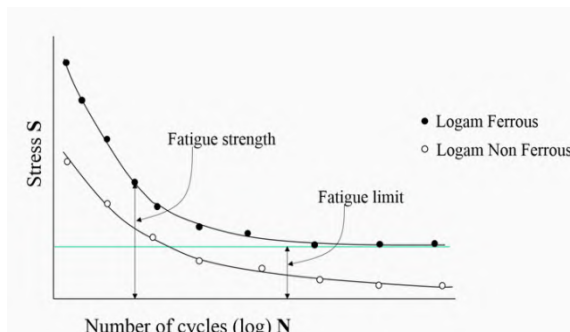
Pada gambar 2.6 berikut ini menunjukkan *specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi pelumasan-pelumasan yang menunjukkan distribusi antara range 10-15 hingga 10-1 mm³/Nm.



Gambar 2. 8 *Specific wear rate* pada material logam ^[3].

2.2.2 Fatigue



















Kelelahan (*fatigue*) adalah suatu kerusakan yang terjadi akibat adanya pemberian tegangan secara berulang-ulang dimana tingkat tegangan yang diberikan jauh lebih rendah dari pada tegangan yang diperlukan untuk mematahkannya. Kerusakan karena kelelahan dapat terjadi akibat merambatnya retak/cacat secara perlahan dan bertahap^[4].



Gambar 2. 9 Kurva S-N *fatigue* ^[4]

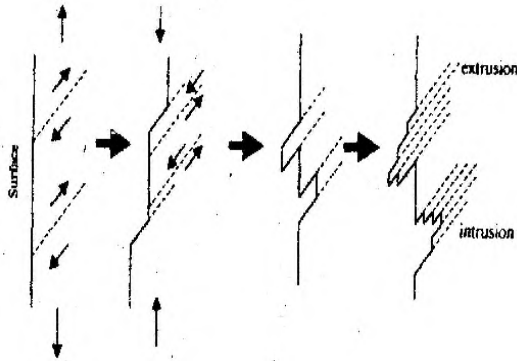
Gambar 2.7 merupakan kurva *stress* terhadap *number of cycles*, bahwa tegangan yang semakin kecil menunjukkan jumlah siklus yang semakin besar/umur kerja semakin panjang. Pada logam *ferrous* mempunyai batas lelah seperti terlihat pada grafik garis berwarna hijau, sehingga dapat diketahui batas lelah material, sedangkan logam *non ferrous* tidak memiliki batas lelah karena jika diberikan beban dinamis yang kecil sekalipun grafiknya tidak akan pernah konstan. *Fatigue strength* menunjukkan ketahanan terhadap beban siklik (berulang), dinyatakan dengan besarnya tegangan yang menyebabkan kelelahan pada jumlah siklus tertentu. *Fatigue limit* menunjukkan *fatigue strength* untuk jumlah siklus tak terhingga, atau batas tegangan terbesar yang tidak lagi menimbulkan kelelahan.

Tabel 2. 2 Bentuk penampang patahan karena kelelahan ^[5]

Type of fatigue stress Stress category	No stress concentration		Low stress concentration		High stress concentration	
	Light over-loading	Heavy over-loading	Light over-loading	Heavy over-loading	Light over-loading	Heavy over-loading
1. Pulsating flexural stress						
2. Alternating flexural stress						
3. Rotating bending stress						

2.2.2.1 Tahap retak awal

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak, secara sederhana diberikan oleh *Wood*. Model pengintian retak oleh *Wood* ini dapat dilihat pada gambar 2.8.



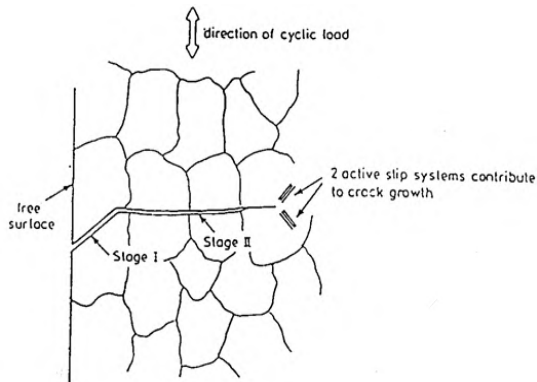
Gambar 2. 11 Model Pengintian retak oleh Wood ^[6]

Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut 45^0 dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama.

2.2.2.2 Tahap perambatan retak

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Perambatan retak terjadi pada bidang slip dengan kecepatan lambat. Namun perambatan ini belum bisa dilihat secara makro. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

Selanjutnya pertumbuhan retak tahap II sering ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai dapat dilihat dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Mekanisme perambatan retak dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 13 Mekanisme Perambatan retak ^[6]

2.2.2.3 Patah akhir

Retak makro merambat sedikit demi sedikit dan bertambah panjang pada setiap siklus pembebanan yang selanjutnya menghasilkan keretakan yang semakin lama semakin panjang. Akhirnya penampang logam semakin kecil dan tidak lagi mampu mendukung beban yang diterima hingga akhirnya logam akan patah.

2.3 Investigasi Kerusakan (*Failure Investigation*)

Analisis kegagalan atau investigasi kerusakan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup kondisi komponen tersebut, situasi dan kondisi lingkungan operasional dari komponen tersebut, sehingga dapat diketahui atau ditentukan penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Menentukan penyebab utama kegagalan komponen tersebut
2. Meminimalisasi terjadinya kegagalan yang sama pada masa mendatang
3. Sebagai rujukan teknis mengenai permasalahan dengan kondisi yang sama atau hampir sama

Investigasi kerusakan atau kegagalan memakai metode *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi. Prosedural RCFA secara umum adalah sebagai berikut :

1. *General problem identification*
2. *Gather samples*
3. *Causal identification*
4. *Hypothesis development*
5. *Hypothesis testing*
6. *Root cause identification/map*
7. *Conclusion and solution*

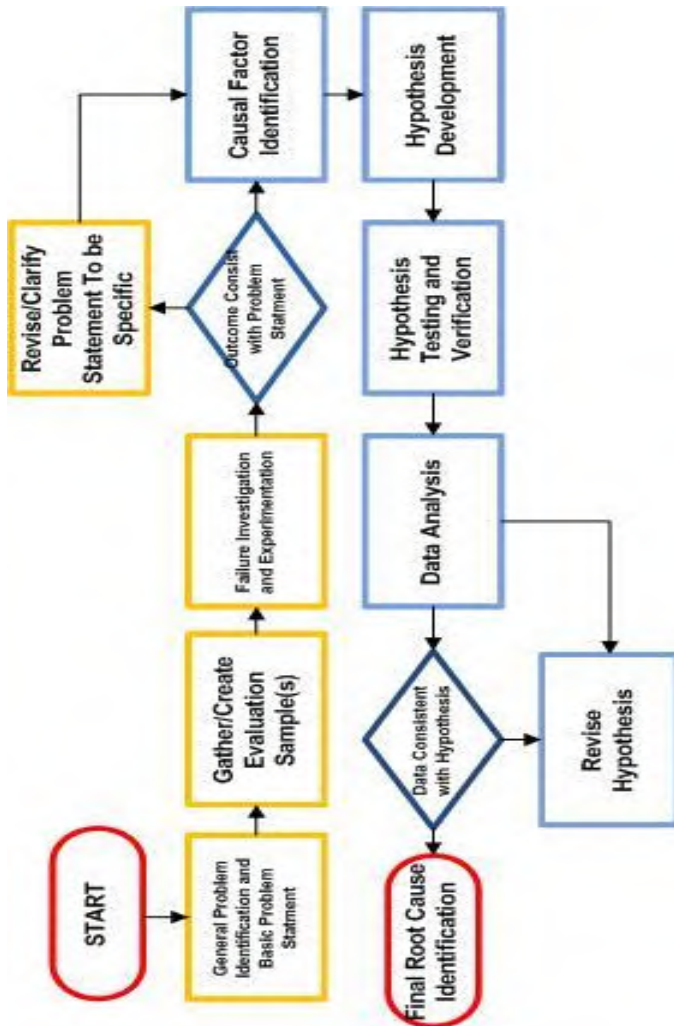
Berikut adalah *flowchart* prosedural *root cause failure* guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi.

2.3.1 Process Analysis, Mapping, dan Flowcharts

Process analysis, mapping, dan flowcharts merupakan *tools* dari metoda *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini berpacu pada proses yang dikelompokkan dalam bentuk diagram proses. Tujuan dari *tools* ini adalah untuk mengetahui secara jelas penyebab dari kegagalan atau kerusakan komponen.

2.3.2 Why Analysis

Why analysis merupakan *tools* dari metoda *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini adalah teknik grafik yang mengandung sebuah penjabaran secara skematik dari kombinasi kejadian-kejadian dalam sebuah sistem. Dalam *tools* ini kita harus menganalisa secara kritis dengan selalu bertanya mengapa (*why*) untuk suatu permasalahan, agar dapat mengkombinasikan sebuah sistem dan mencari akar permasalahan yang terjadi .



Gambar 2. 14 Diagram alir Prosedural RCFA secara umum^[7].

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang telah dilakukan mengenai *chain analysis* antara lain:

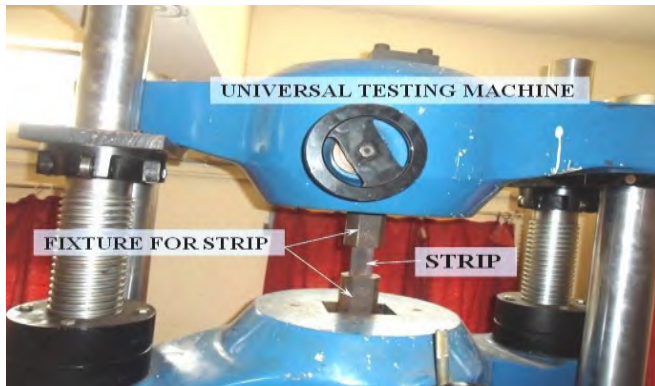
Study of Roller Conveyor chain Strip under Tensile Loading – Jagtap M.D., Gaikwad B.D., Pawar P.M.2014. Dalam penelitian tersebut dilakukan analisa secara analitis, eksperimen dan numerik mengenai perilaku strip pada *chain* dengan pembebanan tarik. Dalam analisa secara analitis yang dilakukan adalah dengan memodelkan strip dengan dimensi 55 mm x 150 mm (*pitch*) x 10 mm. Tegangan maksimum dicari dengan menggunakan persamaan. Besar gaya yang bekerja pada material dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8^[8].

$$Working\ stress = \frac{Maksimum\ stress}{factor\ of\ safety} \quad (2.7)$$

$$Working\ stress = \frac{working\ load}{Re\ sitting\ area} \quad (2.8)$$

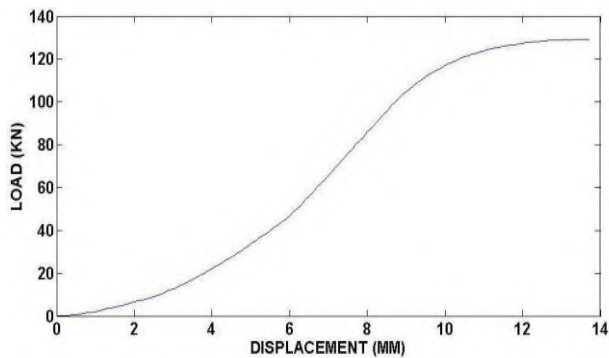
Dengan hasil perhitungan secara analitis kemudian dilakukan pengecekan dengan metode eksperimen dan simulasi.

Untuk pengujian kekuatan secara eksperimen dilakukan uji Tarik pada *strip* dengan dimensi 55 mm x 150 mm x 10 mm dengan material EN353. Peralatan yang digunakan adalah *universal testing machine* dengan kapasitas beban 40 ton. Pengaturan alat yang digunakan untuk menguji strip ditunjukkan oleh gambar 2.11.



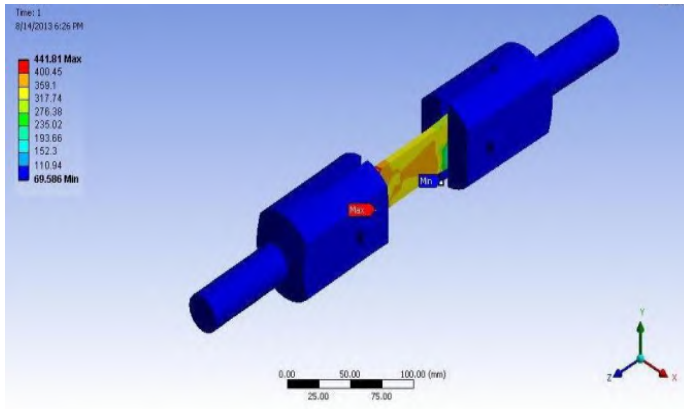
Gambar 2. 16 *Universal testing machine.*^[9]

Beban diberikan dari penggunaan tekanan hidrolis. Grafik hasil pengujian *strip* ditunjukkan oleh gambar 2.12 beban maksimal yang dapat diterima oleh *strip* sebesar 129.2 kN.



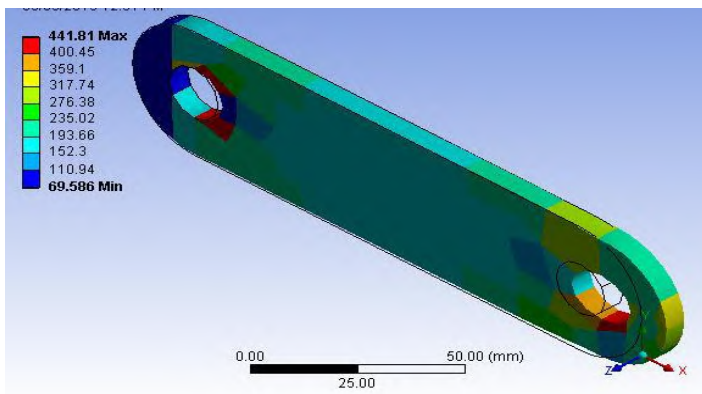
Gambar 2. 17 Grafik hasil pengujian *strip*.

Untuk pengujian secara numerik menggunakan *finite element analysis* (FEA) dengan menggunakan bantuan *software* Ansys. *Strip* dimodelkan dengan menggunakan *software* catia dan dilakukan *meshing* dengan *software* Ansys. Pemodelan menggunakan *software* Ansys ditunjukkan dengan gambar 2.13



Gambar 2. 18 Pemodelan dengan *software* Ansys.

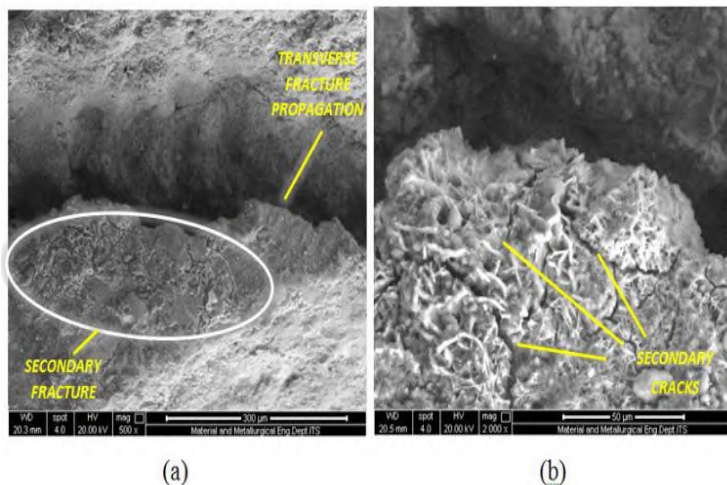
Area yang berwarna merah menunjukkan reaksi dari beban yang diberikan kepada *strip*. Tegangan maksimum yang diterima oleh dari *strip* dapat diketahui, daerah kegagalan juga dapat diamati. Untuk tegangan yang diterima disekitar lubang *pen* pada *strip* dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2. 19 Pengujian FEA dengan Ansys.

Dari gambar 2.14 dapat dilihat bahwa terjadi pemusatan tegangan pada daerah sekitar lubang sehingga *strip* akan mengalami kegagalan pada daerah tersebut.

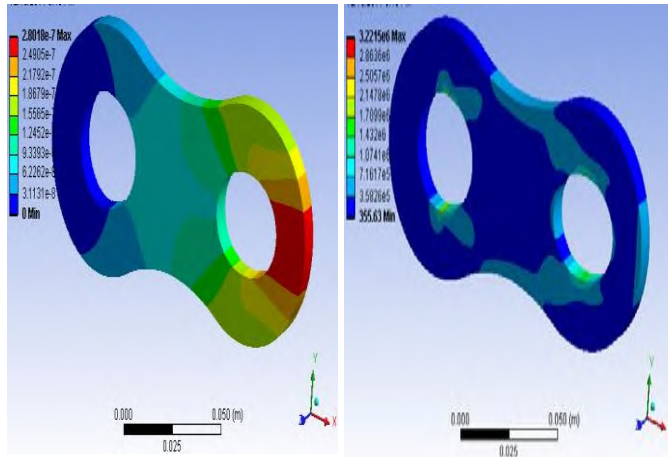
Investigasi Penyebab Kerusakan *Chain Bucket elevator* Pada 7th *Finish Mill Transport System Area* Di Tuban IV PT. Semen Gresik - Sebastianus Dwi Danuputro.2015. Dalam penelitian tersebut dilakukan analisa mengenai penyebab kerusakan pada *chain bucket elevator*. Penelitian dilakukan secara analitis dan eksperimen. Perhitungan secara teoritis dilakukan untuk mendapatkan beban maksimal yang diterima oleh rantai. Pada pengujian secara teoritis digunakan untuk menentukan *chain bucket elevator* mengalami *overload* atau tidak. Kemudian peneliti menggunakan pengujian *scanning electron microscopy* (SEM) untuk mengetahui apakah *chain* mengalami kegagalan yang disebabkan oleh *fatigue*. Hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 2.15.^[9]



Gambar 2. 20 Hasil pengujian SEM^[9]

Kemudian peneliti melakukan pengujian *impact* pada sampel *chain* untuk menentukan *heat treatment* yang dilakukan

pada *chain bucket elevator*. Tetapi pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian secara numerik untuk mengetahui akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi pada *chain bucket elevator* di *finish mill transport system* area di PT. Semen Gresik.



Gambar 2. 21 Pemodelan rantai dengan software FEA

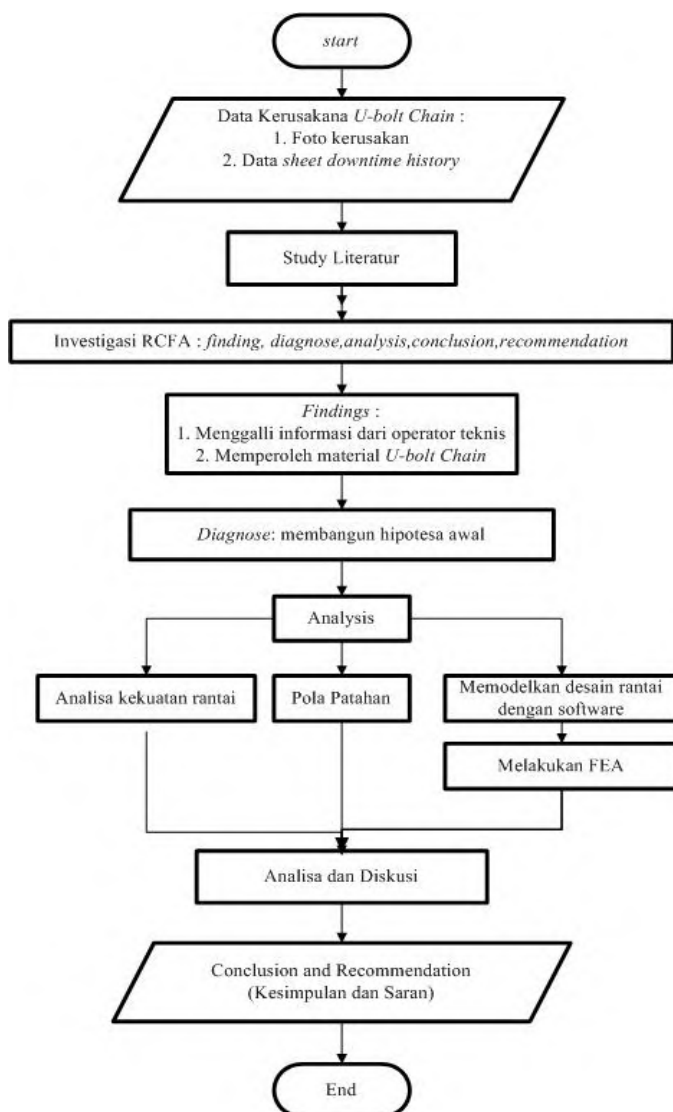
Fea Based Study of Effect of Radial Variation of Outer Link in A Typical Roller Chain Link Assembly - Tushar D. Bhoite, Prashant M. Pawar & Bhaskar D. Gaikwad.2012. Dalam penelitian ini dilakukan proses optimasi desain rantai untuk meminimalkan mode kegagalan yang terjadi. Proses ini menganalisa berbagai desain seperti ketebalan dinding *link*, besar area *link* dan bentuk *link*. Dalam melakukan optimasi area *link*, material yang digunakan memegang peranan yang sangat penting sehingga perlu memutuskan material yang akan digunakan. Desain dari rantai ditentukan dengan menggunakan *finite element analysis (FEA)* menggunakan bantuan *software Ansys workbench*. Metode FEA digunakan untuk mendesain model rantai, *preprocessing*, *processing*, *post processing* rantai. Pemodelan yang dibuat dapat dilihat pada gambar 2.16^[10]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada tugas akhir ini akan dilakukan tahapan – tahapan pemecahan masalah yang diwakili dari studi lapangan mengenai permasalahan yang diteliti, kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang mendukung, melakukan studi literatur, melakukan investigasi *failure analysis*, melakukan analisa perhitungan gaya dan tegangan *u-bolt chain*, dan di bagian akhir melakukan penarikan kesimpulan dan rekomendasi. Diagram alir tahapan proses pemecahan masalah pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 dapat dijelaskan lebih lanjut secara mendalam dengan beberapa sub-bab berikut ini:

3.2.1 Studi Lapangan dan Pengambilan Data

Langkah awal yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah dengan melakukan studi lapangan ke PT.Petrokimia Gresik. Studi lapangan dilakukan untuk identifikasi permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir. Studi lapangan yang peneliti lakukan adalah melihat *bucket elevator*, data yang penulis peroleh berdasarkan data *sheet downtime* pihak pabrik II PT.Petrokimia Gresik sebagai acuan untuk mengidentifikasi masalah kerusakan pada *bucket elevator* adalah sebagai berikut :

1. Foto kerusakan *u-bolt chain* pada *bucket elevator*.
2. Gambar teknik *bucket elevator*.
3. *Downtime history*.
4. Kondisi aktual operasional.
5. Standar operasi prosedur pemeliharaan pabrik II PT.Petrokimia Gresik.

3.2.2 Studi Literatur

Literatur utama yang menjadi pedoman oleh penulis bersumber dari pihak pabrik II PT.Petrokimia Gresik . Literatur utama yang penulis gunakan antara lain:

1. Data desain dan gambar teknik serta komponen didalamnya.
2. Sumber penunjang berupa buku atau jurnal yang dirasa perlu.
3. Literatur mengenai penyebab kerusakan suatu peralatan dikarenakan *fatigue* maupun *overload*.

3.2.3 Investigasi dengan Metode *Root Cause Failure Analysis*

Setelah data yang diperlukan terkumpul, maka dilakukan investigasi dengan metode RCFA sebagai berikut :

3.2.3.1 *Findings*

Penulis melakukan *findings* dengan menggali informasi dari operator dan memperoleh material *u-bolt chain* yang mengalami kerusakan. Penulis melihat secara langsung bentuk *failure* yang terjadi pada *u-bolt chain* di lapangan dan melakukan survey kepada pihak teknisi terkait.

3.2.3.2 *Diagnose*

Diagnose atau melakukan hipotesis awal/ sementara mengenai penyebab kerusakan yang terjadi pada *bucket elevator*. Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan, diperoleh hasil hipotesis antara lain ^[12]:

1. *Overload* : *overload* merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau diatas *yield strength*. Ketika beban diterima berlebih menyebabkan deformasi. pada struktur material maka hal ini dapat menyebabkan *fracture* ketika sudah mencapai titik puncak atau *ultimate strength*.

2. *Fatigue* atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan.

3. *Wrong design and manufacturing*: *wrong design* dapat menyebabkan kerusakan karena kesalahan dalam menentukan dimensi, pembebanan dan pemilihan material yang akan digunakan.

3.2.4 Analysis

Penulis melakukan tahap *analysis* yaitu *hypothesis testing* dan *root cause identification/map* untuk mengidentifikasi akar masalah dan menganalisa hipotesis awal. Tahapan yang dilakukan akan dijelaskan pada sub-bab berikut ini:

3.2.4.1 Perhitungan analitis

Melakukan analisa kekuatan *chain* sesuai dengan kondisi aktual mekanisme kerja gaya dan tegangan yang terjadi.

3.2.4.2 Identifikasi pola patahan

Melakukan uji pola patahan pada material *u-bolt chain*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola patahan secara makroskopik.

3.2.4.3 Pemodelan *u-bolt chain bucket elevator*

Analisa dengan simulasi membuat model rantai *u-bolt chain* secara grafis 3 dimensi menggunakan *software Autodesk Inventor*. Pemodelan yang dibuat mewakili spesimen yang asli dengan menggunakan gambar teknik yang didapatkan dari pabrik II PT.Petrokimia Gresik.

3.2.4.5 Simulasi FEA

Melakukan Simulasi FEA dengan model rantai yang telah dibuat menggunakan *software Autodesk Inventor* kemudian dengan mengimport kedalam *software* FEA untuk dilakukan analisa struktural dan permeshingan. Kemudian dilakukan simulasi, digunakan untuk mengetahui mekanisme *u-bolt chain*, tegangan maksimum dan umur rantai. Hasil simulasi yang akan menemukan rekomendasi dari penyebab kerusakan.

3.2.5 Analisa dan Diskusi

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisa dan diskusi mengenai hasil dari simulasi menggunakan *software* FEA. Hasil yang dianalisa adalah tegangan maksimal yang diterima oleh *u-*

bolt chain dengan gaya yang ditentukan. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pihak Pabrik II PT. Petrokimia Gresik sebagai bahan rekomendasi perawatan *bucket elevator*.

3.2.6 Conclusion and Recommendation

Pada tahap ini merupakan langkah akhir dalam penelitian tugas akhir yang menyajikan informasi mengenai kesimpulan yang didapat berdasar analisa dan simulasi sehingga dapat memberikan solusi yang tepat, dan efektif kepada pihak pabrik II PT. Petrokimia Gresik perihal topik yang diangkat.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai probabilitas penyebab kegagalan yang memicu terjadinya *failure* pada *u-bolt chain bucket elevator* M4135 pabrik II PT.Petrokimia Gresik. Analisa penyebab kerusakan dilakukan dengan mengacu kepada kondisi operasional, histori, foto kerusakan dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak pabrik II PT.Petrokimia Gresik. Setelah itu dilakukan hipotesis dan pengolahan data dengan analisa perhitungan secara analitis. Selanjutnya melakukan analisa makroskopik untuk mengetahui pola patahan material, terakhir dilakukan simulasi menggunakan *finite element analysis* (FEA) untuk mengetahui mekanisme kegagalan *u-bolt chain* dan mengetahui tegangan dan umur *u-bolt chain bucket elevator*.

4.1 History Report dan Data Kerusakan Chain

Data-data yang didapatkan dari pabrik phonska PT.Petrokimia Gresik menjadi dasar acuan atau referensi dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya kerusakan *u-bolt chain* pada *bucket elevator* pabrik II PT.Petrokimia Gresik, adalah sebagai berikut^[11]:

1. *History Report* Kerusakan
2. Foto-foto Kerusakan *U-bolt Chain*
3. Struktur Material *U-bolt Chain*
4. Kondisi Aktual Operasional

4.1.1 History Report Kerusakan

Tabel 4.1 merupakan data *sheet* gangguan bucket elevator pada tahun 2015-2016 yang diperoleh dari pabrik II PT.Petrokimia Gresik

Tabel 4. 1 Data *sheet* 2015-2016 gangguan pada *bucket elevator*^[11]

Waktu		Mulai		Selesai		Total		Total	Penyebab <i>Downtime</i>	
Bl n	Tg l	Ja m	M nt	Jam	M nt	Ja m	M nt	(Ha ri)	Ite m	Uraian
Tahun 2015										
1	24	7	0	8	1 5	1	15	0,0 5	M. 413 5	Rantai selip
4	14	8	0	11	4 0	3	40	0,1 5	M. 411 0	Potong rantai bucket
4	28	9	0	11	1 5	2	15	0,0 9	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
4	29	7	4 5	9	3 0	1	45	0,0 7	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
5	3	1 7	0	18	4 5	1	45	0,0 7	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
5	7	1 7	4 5	21	1 5	3	30	0,1 5	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
5	8	8	3 0	10	3 0	2	0	0,0 8	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
5	9	9	0	11	0	2	0	0,0 8	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
5	10	1 3	1 5	19	0	5	45	0,2 4	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i> putus
5	11	7	4	8	3	0	45	0,0	M.	Potong

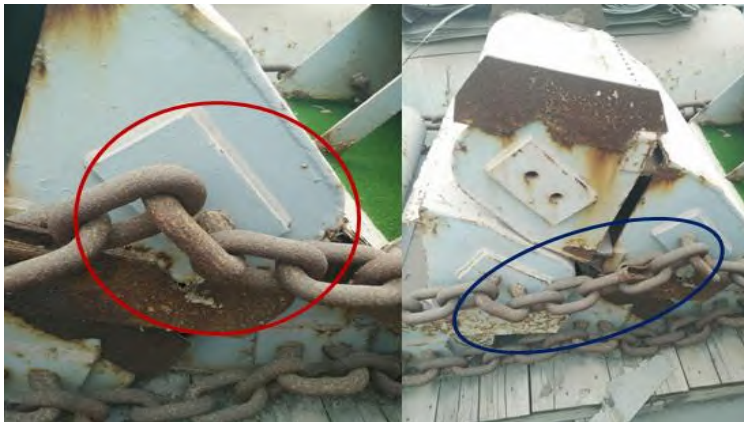
			5		0			3	411 7	rantai <i>bucket</i>
5	12	9	1 5	12	0	2	45	0,1 1	M. 413 5	Ganti <i>u-</i> <i>bolt</i> putus
5	13	8	0	15	3 0	7	30	0,3 1	M. 413 5	Ganti <i>u-</i> <i>bolt</i> putus
5	14	8	0	15	0	7	0	0,2 9	M. 413 5	Ganti <i>u-</i> <i>bolt</i> putus
5	15	0	0	3	3 0	3	30	0,1 5	M. 413 5	Ganti <i>u-</i> <i>bolt</i> putus
5	15	9	0	24	0	1 5	0	0,6 3	M. 413 5	Ganti <i>buc</i> <i>ket</i>
5	16	0	0	0	3 0	0	30	0,0 2	M. 413 5	Ganti <i>bucket</i>
7	9	1 0	0	12	1 5	2	15	0,0 9	M. 411 0	Potong rantai <i>bucket</i>
9	21	1 1	0	12	0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Ganti <i>u-</i> <i>bolt</i> putus
11	6	8	0	9	0	1	0	0,0 4	M. 411 0	Mekanik <i>adjust tail</i> <i>wheel</i>
11	19	1 0	0	12	1 5	2	15	0,0 9	M. 413 5	Potong rantai <i>bucket</i>
12	3	1 6	3 0	17	3 0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Ganti <i>u-</i> <i>bolt</i> putus

Tahun 2016										
1	6	9	3 0	10	3 0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Ganti <i>u bolt</i>
1	9	1 6	3 0	18	0	1	30	0,0 6	M. 413 5	Ganti <i>u bolt</i>
1	20	8	4 5	10	3 0	1	45	0,0 7	M. 413 5	Ganti baut <i>u bolt</i>
1	23	0	3 0	4	1 5	3	45	0,1 6	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i>
1	23	1 1	0	11	3 0	0	30	0,0 2	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i>
1	25	8	4 0	9	2 0	0	40	0,0 3	M. 413 5	Ganti <i>u bolt</i>
1	25	1 7	0	18	3 0	1	30	0,0 6	M. 413 5	Ganti <i>u bolt</i>
1	26	8	0	10	3 0	2	30	0,1 0	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i>
1	27	1 5	0	17	3 0	2	30	0,1 0	M. 413 5	Ganti <i>u bolt</i>
1	28	0	0	1	0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Ganti <i>u bolt</i>
1	28	1 6	3 0	17	3 0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i>

1	29	1 1	0	12	0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i>
1	30	1 6	0	17	3 0	1	30	0,0 6	M. 413 5	Ganti <i>u-bolt</i>
3	7	9	0	10	0	1	0	0,0 4	M. 413 5	Meka nik pasang <i>u-bolt</i>

4.1.2 Foto-foto kerusakan *Chain*

Foto kerusakan *chain* diperoleh dari pihak pemeliharaan pabrik II Phonska PT.Petrokimia Gresik.^[11]



Gambar 4. 1 *U-bolt chain* pada *bucket elevator*

Gambar 4.1 merupakan *u-bolt chain* yang menempel pada *bucket elevator* yang sudah terkorosi. *U-bolt chain* menempel pada *bucket elevator* ditunjukkan oleh lingkaran yang berwarna merah, *u-bolt chain* juga sebagai penyambung antar *bucket*

melalui *marine chain* yang menempel ditunjukkan oleh lingkaran yang berwarna biru.

Gambar 4.2 terlihat jelas terjadinya *failure* pada *u-bolt chain*. Kondisi *failure* ini merupakan patahnya *u-bolt* akibat menerima beban beruntun dari *bucket* dan *marine chain* yang saling terhubung. Patahan terjadi diawali dengan deformasi rantai ke arah gaya yang memberi tarikan, akibatnya *link u-bolt* menerima tegangan yang terkonsentrasi dan terpusat sehingga menyebabkan putus. Gambar menunjukkan *u-bolt chain* memiliki bentuk pola patahan yang diakibatkan *fatigue*.

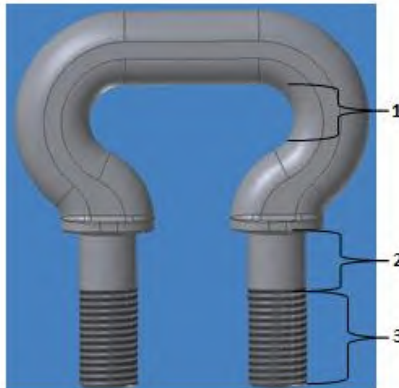


Gambar 4. 2 Kerusakan *u-bolt chain*

4.1.3 Struktur Material *U-bolt Chain*

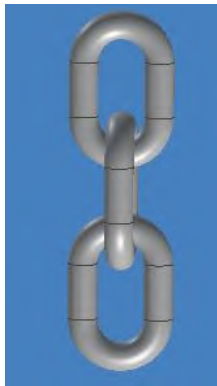
Struktur *u-bolt chain* memiliki perbedaan dengan struktur *marine chain* pada *bucket elevator* pabrik II PT.Petrokimia Gresik. Perbedaan paling mendasar terdapat pada bentuk dan sambungan *chain*. *Marine chain* berbentuk seperti sambungan rantai kapal yang saling terhubung, sedangkan *u-bolt chain* merupakan rantai yang berbentuk seperti tapal kuda yang menempel pada *bucket* dengan baut sebagai pengunci dan tempat menempelnya *marine chain*. Gambar 4.3 merupakan struktur *u-*

bolt chain dan gambar 4.4 merupakan struktur *marine chain*. (Gambar teknik dapat dilihat pada lampiran 2)



Keterangan : 1. *Marine chain*, 2. Plat, 3. Bolt, ring

Gambar 4. 3 Struktur *u-bolt chain*



Gambar 4. 4 Struktur *marine chain*

4.1.4 Kondisi Aktual Operasional

Kondisi aktual operasional didapatkan dari bagian perencanaan dan pengendalian pabrik II PT.Petrokimia Gresik dengan menggali informasi dengan operator dan kepala seksi.

Kondisi aktual ini dapat digolongkan menjadi beberapa klasifikasi sebagai berikut:

1. Alat : Rantai putus terjadi ditengah *link chain* dekat dengan area menempelnya *marine chain*. *U-bolt chain* dan baut terkadang tidak menempel secara langsung dikarenakan bentuk lubang *bucket* yang tidak sesuai sehingga terkadang menggunakan *ring* untuk menempel pada *bucket*. Rantai berada didalam gudang ± 3 bulan, tidak langsung digunakan. *Feeding phonska* tidak stabil sehingga pupuk menempel pada *bucket* dan rantai dimungkinkan mengalami laju korosi.
2. Manusia : Proses pemasangan *u-bolt chain* mengalami *misalignment*, pemasangan *ring* luar yang tidak wajib ada selama dimensi *bucket* sesuai. Terkadang hasil fabrikasi terdapat selisih antara lubang *bucket* dengan lubang baut.

4.2 Posibilitas Penyebab Kegagalan *U-bolt Chain* pada *Bucket Elevator* Pabrik II PT.Petrokimia Gresik

Chain sebagai sistem penghubung merupakan salah satu komponen utama bucket elevator. Berdasarkan kepada studi literatur terdapat beberapa kerusakan yang dapat terjadi pada *u-bolt chain bucket elevator*^[12].

Fracture / Plastic Deformation :

1. *Overload* : *overload* merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau diatas *yield strength*. Ketika beban diterima berlebih menyebabkan deformasi. pada struktur material maka hal ini dapat menyebabkan *fracture* ketika sudah mencapai titik puncak atau *ultimate strength*.

2. *Fatigue* atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang

terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan.

3. *Wrong design and manufacturing* : *wrong design* dapat menyebabkan kerusakan karena kesalahan dalam menentukan dimensi, pembebanan dan pemilihan material yang akan digunakan.

4.3 Analisa Properti Material *U-bolt Chain*

Material *u-bolt chain* pabrik II PT.Petrokimia Gresik diproduksi oleh PT.INDONESIA MAGMA CHAIN dengan material berstandar AISI 4130 memiliki komposisi kimia yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 2 Komposisi kimia AISI 4130^[16]

Element	Content (%)
Iron, Fe	97.03 – 98.22
Chromium, Cr	0.80 – 1.10
Manganese, Mn	0.40 – 0.60
Carbon, C	0.280 – 0.330
Silicon, Si	0.15 – 0.30
Molybdenum, Mo	0.15 – 0.25
Sulfur, S	0.040
Phosphorous, P	0.035

Tabel 4.2 menunjukkan komposisi kimia AISI 4130. Kandunga *Ferrous* 97% dan *Carbon* 0,20% menandakan AISI 4130 tergolong *Low Carbon Steel*. *Molybdenum* dan *chromium* merupakan unsur dominan utama yang mempengaruhi kekuatan pada *chain* sehingga tergolong *Chromium-Molybdenum Steel*. Kadar karbon yang rendah dapat menunjukkan kemampuan pengelasan dan kemampuan machining yang baik. Baja ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas.

Unsur *molybdenum*(Mo) meningkatkan kekuatan terhadap pembebanan *continue*, menaikkan batas mulur baja, dan juga menaikkan temperatur tempering. Unsur *chrome* (Cr) merupakan senyawa yang dapat menaikkan kekerasan baja serta

menyebabkan tahan aus. Kadar *chrome* diatas 12% baja bersifat anti karat.

AISI 4130 memiliki kemampuan mekanik dan fisika yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dan tabel 4.4. Aplikasi AISI 4130 seperti pada mesin pesawat dan pipa pengelasan.

Tabel 4. 3 *Physical Properties* AISI 4130^[13]

Properties	Metric
Density	7.85 g/cm ³
Melting point	1432°C

Tabel 4. 4 *Mechanical Properties* AISI 4130^[13]

Properties	Metric
Tensile strength, ultimate	560 MPa
Tensile strength, yield	460 MPa
Modulus of elasticity	190-210 GPa
Bulk modulus (Typical for steel)	140 GPa
Shear modulus (Typical for steel)	80 GPa
Poissons ratio	0.27-0.30
Elongation at break (in 50 mm)	21.50%
Reduction of area	59.6
Hardness, Brinell	217
Hardness, Knoop (Converted from Brinell hardness)	240
Hardness, Rockwell B (Converted from Brinell hardness)	95
Hardness, Rockwell C (Converted from Brinell hardness, value below normal HRC range, for comparison purposes only.)	17
Hardness, Vickers (Converted from Brinell hardness)	228
Machinability (Annealed and cold drawn. Based on 100% machinability for AISI 1212 steel.)	70

4.4 Analisa Possibilitas Penyebab Kegagalan *U-bolt Chain* pada *Bucket Elevator* Pabrik II PT. Petrokimia Gresik

Berdasarkan hipotesa awal yang dibangun, penulis melakukan analisis terhadap potensial penyebab kerusakan yang terjadi pada *u-bolt chain bucket elevator*.

4.4.1 *Overload*

Berdasarkan data-data yang didapatkan dari spesifikasi *bucket elevator* maka dapat dilakukan perhitungan secara analitis besarnya gaya yang teraplikasi, sehingga dapat diketahui apakah gaya yang diterima melebihi besar gaya dan tegangan yang diizinkan oleh spesifikasi material *u-bolt chain* dan dapat berpotensi terjadinya *overload*.

4.4.1.1 Perhitungan Pendekatan *Force* yang Teraplikasi pada *U-bolt Chain*

Tabel 4.5 berisi spesifikasi data yang diperoleh dari datasheet *bucket elevator* dan rantai sehingga dapat dilakukan pendekatan secara teoritis gaya yang teraplikasi pada rantai dengan persamaan yang telah diketahui dalam studi literatur^[2].

Tabel 4. 5 Spesifikasi data *bucket elevator*

Spesifikasi data <i>bucket elevator</i> :	Nilai	Satuan
Tipe <i>chain</i>	<i>double chain</i>	
Tipe <i>bucket</i>	<i>deep bucket</i>	
Material yang diangkut	Phonska	
Temperatur	40	°C
<i>Abrasive</i>	<i>low</i>	
<i>Water content</i>	5-6%	
Kapasitas <i>Conveyor(Q)</i>	35	ton/jam

Kecepatan (v)	0,41	m/s
	1500	m/jam
Ketinggian elevasi (H)	13,6	m
<i>Inclination</i>	65°	
Daya	18,5	kW
Jam kerja	24	jam/hari
Ψ (<i>average loading eff.</i>)	0,75	
Jumlah <i>bucket</i>	73	buah
Jumlah <i>bucket</i> di ketinggian maksimum	38	buah
Berat rantai	5,86	kg
Berat <i>u-bolt chain</i>	3,78	kg
Total berat rantai	9,64	kg
Berat <i>bucket</i>	22,48	kg
Berat <i>bucket</i> dan <i>volume</i>	28,49308642	kg
Berat total <i>bucket</i>	1091,566128	kg
Jarak <i>bucket</i> (a)	355	mm
Tinggi <i>bucket</i> (h)	355	mm
Panjang <i>bucket</i> (p)	840	mm
Lebar <i>bucket</i> (A)	280	mm
• γ (berat material per unit <i>volume</i>)	0,5	ton/m ³
<i>a max</i> (<i>grain size max</i>)	10	mm
<i>io</i> (<i>volume bucket</i>)	6,135802469	L
K1	1,5	

K2	1	
K3	1,3	
<i>driver power</i>	18,5	kW
<i>chain strength</i>	377	kN
q (berat beban per meter)	6,586871424	kg/m
qo(berat per meter rantai/belt dan bucket)	103,3797213	kg/m
Tegangan maksimum (Smax)	24802,69098	N
Tarikan tiap rantai	12401,34549	N
Gaya yang diterima satu <i>link</i> rantai	6200,672746	N

- **Kapasitas *bucket elevator* :**

$$Q = 3,6 \cdot \frac{io}{a} \cdot \Psi \cdot \gamma \cdot v$$

$$\frac{io}{a} = \frac{Q}{3,6 \Psi \cdot \gamma \cdot v}$$

$$\frac{io}{a} = \frac{35 \text{ t/h}}{3,6 \cdot (0,7) \cdot \left(0,5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right) \cdot 1500 \frac{\text{m}}{\text{h}}}$$

$$\frac{io}{a} = 0,0172 \text{ m}^3$$

$$io = 0,0172 \cdot \left(\frac{355}{1000}\right) = 0,0061 \text{ m}^3 = 6,1 \text{ liter}$$

- **Berat beban per meter**

$$q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} \text{ kg/m}$$

$$q = \frac{9,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{3,6 \cdot 0,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 6,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- **Berat per meter rantai/belt dan bucket**

$$q_o = \frac{\text{total berat rantai}}{\text{jarak}} \frac{\text{kg}}{\text{m}} + \frac{\text{total berat bucket}}{\text{jarak}} \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$q_o = \frac{9,64}{0,417} + \frac{28,49}{0,355} = 103,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- **Tegangan maksimum rantai (*double chain*)**

$$S_{max} = 1,15 \cdot (q \cdot H + K1 \cdot q_o \cdot H) 9,81$$

$$S_{max} = 1,15 \cdot 13,6(6,5 + 1,5 \cdot 103,37) 9,81 = 24802 \text{ N} = 24,80 \text{ kN}$$

- **Tarikan tiap rantai :**

$$S_{1-2} = \frac{S_{max}}{2} = \frac{24,80 \text{ kN}}{2} = 12,40 \text{ kN}$$

Kesimpulan yang didapat bahwa nilai teoritis perhitungan tegangan yaitu 12,40 kN berada jauh dibawah nilai kekuatan yang menjadi spesifikasi *u-bolt chain* AISI 4130 yaitu 377 kN. Atas dasar perhitungan ini dapat disimpulkan tidak terjadi keadaan *overload* pada saat operasional.

- **Perhitungan Daya :**

$$\eta_t = 0,9 \text{ (efisiensi transmisi, asumsi)}$$

$$N_m = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{3,6 \cdot 1000} \cdot (1,15 + k3 \cdot k2 \cdot v) \cdot \frac{1}{\eta_t}$$

$$N_m = \frac{9,81 \cdot 35 \cdot 13,6}{3,6 \cdot 1000} \cdot (1,15 + (1,1 \cdot 3,0 \cdot 41)) \cdot \frac{1}{0,9}$$

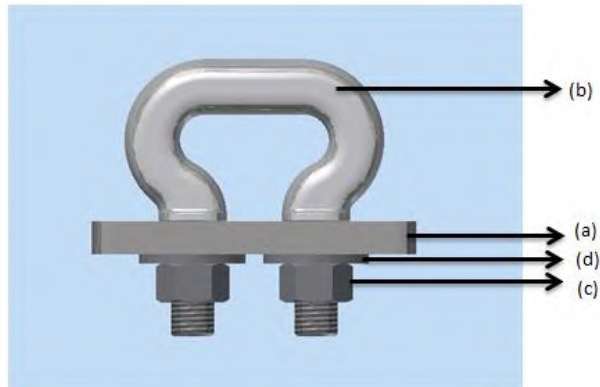
$$N_m = 2,4 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis kebutuhan daya untuk mengatasi tahanan gerak pada bagian-bagian yang bergerak dibutuhkan daya sebesar 2,4 kW. *Drive power* yang terpasang pada bucket elevator M4135 pabrik II PT.Petrokimia Gresik sebesar 18,5 kW berada di atas kebutuhan teoritis sehingga kemampuan daya motor dipastikan memadai.

Perhitungan distribusi tegangan pada rantai, gambar 4.5 merupakan *drawing 3D u-bolt chain* dengan *software autodesk inventor*:

- Luas plat (a): $A1 = 453,288 \text{ mm}^2$

- Luas *u-bolt chain* (b): $A_2 = 434,159 \text{ mm}^2$
- Luas baut (c): $A_3 = 2586 \text{ mm}^2$
- Luas *ring* (d) $A_4 = 942 \text{ mm}^2$



keterangan : (a) plat, (b)chain, (c)bolt, (d)ring

Gambar 4. 5 *Drawing 3D u-bolt chain*

- **Perhitungan distribusi tegangan pada plat *u-bolt chain***

$$\sigma = \frac{S_{max}}{4.A_1}$$

$$\sigma = \frac{24,80 \text{ kN}}{4.453,288 \text{ mm}^2} = 13,6 \text{ N/mm}^2$$

- **Perhitungan distribusi tegangan pada *u-bolt chain***

$$\sigma = \frac{S_{max}}{4.A_2}$$

$$\sigma = \frac{24,80 \text{ kN}}{4.434,159 \text{ mm}^2} = 14,28 \text{ N/mm}^2$$

- **Perhitungan distribusi tegangan pada bolt *u-bolt chain***

$$\sigma = \frac{S_{max}}{4.A_2}$$

$$\sigma = \frac{24,80 \text{ kN}}{4.2586 \text{ mm}^2} = 2,3 \text{ N/mm}^2$$

- **Perhitungan distribusi tegangan pada ring *u-bolt chain***

$$\sigma = \frac{S_{max}}{4.A_2}$$

$$\sigma = \frac{24,80 \text{ kN}}{4,942 \text{ mm}^2} = 6,5 \text{ N/mm}^2$$

Perhitungan secara teoritis didapatkan bahwa besar tegangan yang diterima oleh *link chain* yaitu $13,6 \text{ N/mm}^2$, $14,28 \text{ N/mm}^2$, $2,3 \text{ N/mm}^2$ dan $6,5 \text{ N/mm}^2$. Karena kekuatan yang diterima *u-bolt chain* pada bagian *link chain* lebih besar maka hal ini mengindikasikan kuat bahwa terjadinya *failure* pada bagian tersebut.

Berdasarkan tabel 4.4 *Mechanic properties*, membuktikan bahwa kekuatan material yang diizinkan berada jauh di atas tegangan yang diterima sehingga berada pada kondisi toleransi aman dan tidak mengindikasikan terjadinya *overload*.

4.4.2 Fatigue

Fatigue atau kelelahan adalah bentuk kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan.

Pola patahan yang terjadi pada *u-bolt chain* dapat mengindikasikan karakteristik patahan sehingga dilakukan analisa sebagai berikut:

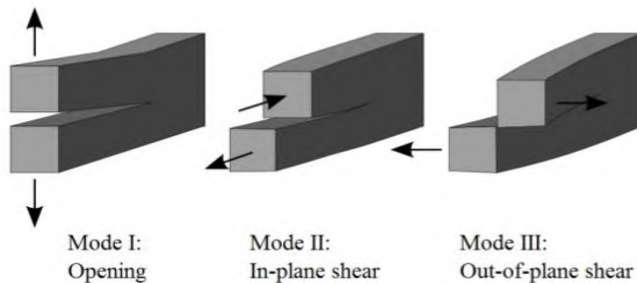
1. Foto makroskopik : mengetahui bentuk pola patahan secara umum pada keseluruhan luasan patahan.
2. Simulasi *Finite Elemen Analysis (FEA)* : mengetahui tegangan statik, regangan, umur tegangan lelah, tegangan lelah dan tempat terjadinya awal kegagalan.

4.4.2.1 Foto Makroskopik

Bentuk patahan secara umum dapat dilihat melalui foto makroskopik. Berdasarkan literatur mengenai bentuk patahan akibat *bending* dan *tension* terdapat beberapa jenis pola patahan.

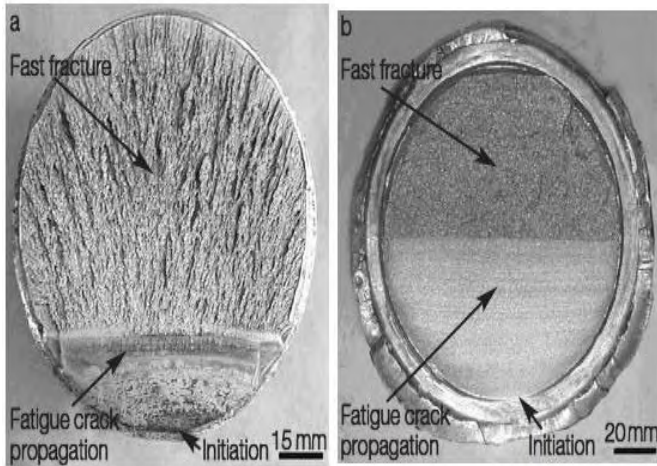
Secara umum bentuk patahan terdiri dari 3 tipe, seperti pada gambar 4.6.

1. Tipe 1 patahan : *opening mode*, disebabkan *tensile stress* normal pada bidang retakan.
2. Tipe 2 patahan : *sliding mode*, disebabkan *shear stress* pada arah parallel bidang retakan dan arah *perpendicular crack front*.
3. Tipe 3 patahan : *tearing mode*, disebabkan *shear stress* pada arah parallel bidang retakan dan arah *parallel crack front*.



Gambar 4. 6 Bentuk patahan^[14]

Gambar 4.7 merupakan analisa retakan pada *fatigue*. Retakan terjadi disebabkan besar kecilnya tegangan yang diberikan. Tegangan yang tinggi mengakibatkan *crack propagation area* yang kecil seperti pada gambar 4.7 (a), sedangkan tegangan yang kecil menyebabkan *crack propagation area* yang besar seperti pada gambar 4.7 (b).



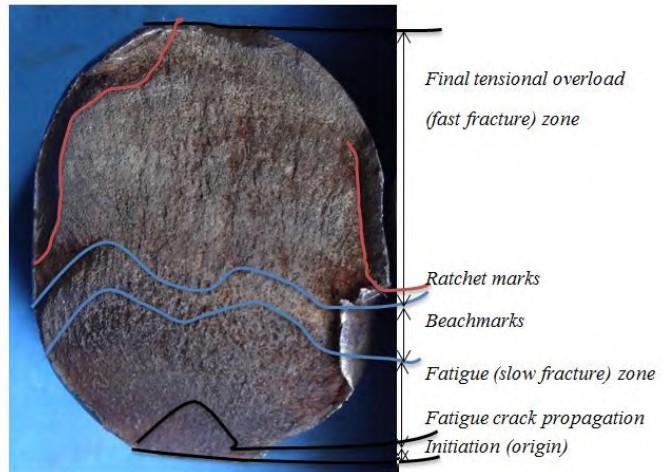
Gambar 4. 7 Analisa retakan secara umum^[15]

Berdasarkan analisa dengan *sample* material yang diperoleh, mekanisme *fracture* yang terjadi pada *u-bolt chain* bersifat beruntun. Pada gambar 4.8 (a) memperlihatkan pola patahan *fatigue* akibat *tensile stress* dan dilakukan analisa makroskopik.

Initial cracking terjadi pada patahan yang tegak lurus secara transversal dengan arah gaya tarik *u-bolt chain*. *Initial cracking* dapat dilihat secara jelas dengan bentuk patahan berpusat atau mengarah pada titik awal *initiation*. Patahan kemudian terlihat merambat hingga terjadi *fatigue crack propagation* pada patahan transversal dengan permukaan lebih kasar dan *initiation crack*. Patahan kemudian terjadi terakhir pada *fast fracture* dengan permukaan yang bergelombang dan kasar.



a) Pola patahan



b) Analisa makroskopik

Gambar 4. 8 (a) Pola patahan, (b) Analisa makroskopik

Karakteristik makroskopik dari kelelahan logam adalah sebagai berikut :^[15]

1. Tidak adanya deformasi plastis secara makro
2. Terdapat tanda ‘garis-garis pantai’ (*beachmarks*)
3. Terdapat ‘*ratchet marks*’

Pada gambar 4.8 (b) mengindikasikan bahwa material mengalami *fatigue* akibat *low stress with low stress concentration*, hal tersebut juga dibuktikan dengan karakteristik makroskopik. Daerah yang mengkilap adalah daerah *crack* dan lebih sering memperlihatkan *beachmark* ditunjukkan oleh garis berwarna biru. *Fast fracture* terlihat jelas pada pola patahan dengan bentuk yang bergelombang mengidentifikasi terjadinya *final tensional overload*. *Ratchet marks* menjalar ke arah radial dan merupakan tanda penjaran retakan yang terjadi bila terdapat lebih dari satu lokasi awal retak ditunjukkan oleh garis berwarna merah muda. Berdasarkan analisa ini maka mengidentifikasi patahan terjadi karena *initial cracking* yang disebabkan oleh kelelahan material atau *fatigue*, kemudian diikuti oleh rambatan *crack* pada arah transversal dan terjadilah *failure*.

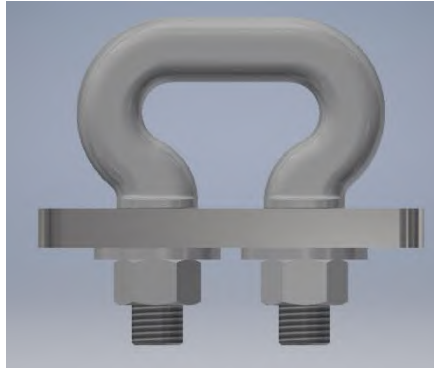
4.4.3 Simulasi *Finite Elemen Analysis*

Untuk pengujian dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan simulasi *Finite Elemen Analysis*. Langkah-langkah simulasi akan dijelaskan lengkap dalam sub-bab ini.

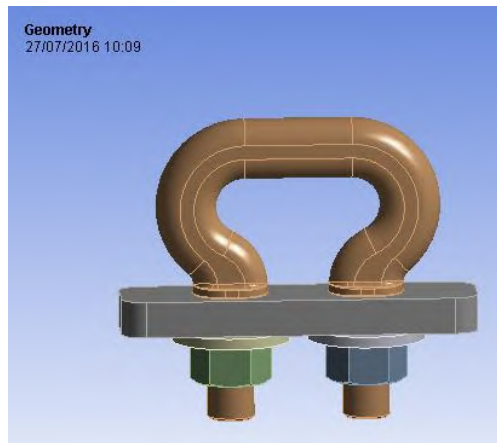
4.4.3.1 Proses Pencarian Tegangan Maksimal dengan Simulasi

Setelah dilakukan perhitungan secara teoritis, untuk menentukan kerusakan yang terjadi pada *u-bolt bucket elevator* dilakukan simulasi menggunakan bantuan *software FEA*. *U-bolt chain* dimodelkan dengan menggunakan *software inventor*, kemudian dianalisa menggunakan *FEA*. Pemodelan dilakukan setelah didapatkan gambar teknik *u-bolt chain bucket elevator* dari pabrik phonska pada lampiran 2.

Gambar 4.9 merupakan 1 rangkaian *u-bolt* yang sudah di *assembly*, hasil pemodelan dari *software inventor*. Gambar 4.10 merupakan input model yang dilakukan kedalam *software FEA* untuk diberikan gaya-gaya yang bekerja.



Gambar 4. 9 *Assembly u-bolt chain software inventor*





Gambar 4. 10 3D *u-bolt* yang sudah di *software FEA*












4.4.3.2 Sifat Material

Baja karbon mempunyai enam sifat yang diperlukan untuk analisa yaitu *density*, *compressive yield strength*, *tensile yield strength*, *tensile ultimate strength*, *isentropic elasticity* dan umur siklus tegangan. Tabel 4.6 merupakan tabel siklus tegangan yang didapatkan dari *library* Ansys, sedangkan tabel 4.7 merupakan *Property Material* FEA AISI 4130 yang berisi data *density*, *compressive yield strength*, *tensile yield strength*, *ultimate tensile strength* dan *isentropic elasticity* yang didapatkan dari sumber internet^[13]. Material yang digunakan sebagai acuan adalah AISI 4130.

Tabel 4. 6 Tabel siklus tegangan baja karbon

	B	C
1	Cycles 	Alternating Stress (MPa) 
2	10	3999
3	20	2827
4	50	1896
5	100	1413
6	200	1069
7	2000	441
8	10000	262
9	20000	214
10	1E+05	138
11	2E+05	114
12	1E+06	86.2
*		

Tabel 4. 7 *Property Material* FEA AISI 4130

Properties of Outline Row 3: aisi 4130			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Density	7.8	g cm ⁻³ 
3	 Isotropic Elasticity		
9	 Alternating Stress Mean Stress	Tabular 	
13	 Tensile Yield Strength	460	MPa 
14	 Compressive Yield Strength	460	MPa 
15	 Tensile Ultimate Strength	560	MPa 

4.4.3.3 Hasil Simulasi

Analisa *finite elemen analysis* meliputi tegangan statik, regangan, umur tegangan lelah, tegangan lelah dan tempat terjadinya awal kegagalan.

Tegangan dan regangan untuk mengetahui besar tegangan statik dan regangan statik yang terjadi pada *chain*, *plat*, *ring* dan baut yang sudah di *assembly* menjadi satu. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan apakah besar tegangan dan regangan masih dalam batas kekuatan material yang ada.

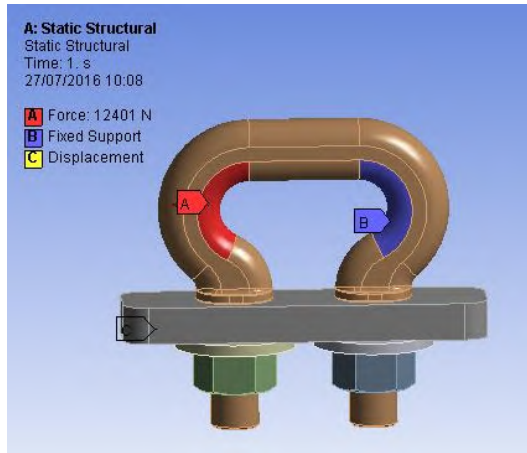
Tegangan lelah lokal merupakan salah satu *output* yang ingin dicapai dari analisis ini karena dengan diketahui besaran maka dapat ditentukan jumlah siklus patahan lelah yang terjadi pada *chain*, *plat*, baut dan *ring* yang sudah di *assembly*.

Umur tegangan lelah ditampilkan dalam bentuk siklus putaran (*cycle*) untuk mempermudah pengonversian kedalam satuan waktu seperti satuan detik, menit, jam, hari ataupun tahun.

Tempat kerusakan distribusi lokal (*damage value*) merupakan salah satu indikator untuk melihat tempat awalnya *crack* pada patah lelah atau *crack initiation*. *Crack initiation* umumnya terjadi pada daerah yang memiliki nilai tegangan yang paling besar.

4.4.3.4 Analisa Statik Struktural Metode FEA

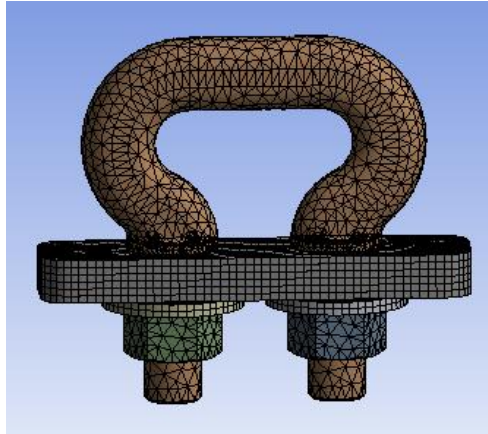
Chain yang sudah di *assembly* secara skematis ditunjukkan pada gambar 4.11. Rantai tersebut digambarkan pembebanan, kondisi batas dan perpindahan rantai yang akan disimulasikan di model elemen hingga. *Chain* yang sudah di *assembly* menjadi satu rantai diberikan gaya-gaya yang disimbolkan dengan A sebesar 12401 N. Penempatan gaya berada pada kontak antara *u-bolt chain* dengan *marine chain* untuk mensimulasikan tarikan gaya yang bekerja pada rantai. Kondisi batas (*fixed support*) disimbolkan dengan huruf B yang merupakan titik kontak lawan arah gaya tarikan pada *u-bolt chain*. *Displacement* yang terjadi pada plat bergerak sesuai sumbu vektor sebesar x (0mm), y (*free*) dan z (0mm), disimbolkan dengan huruf C.



Gambar 4. 11 Analisa statik struktural permodelan FEA

4.4.3.5 Meshing

Meshing untuk rantai yang sudah di *assembly* ditunjukkan pada gambar 4.12. *Meshing* berbentuk segitiga dan persegi dengan ukuran minimal $1,3 \times 10^{-2}$ mm, menghasilkan *mesh* dengan jumlah *nodes* 64117 dan jumlah *elements* 27628.



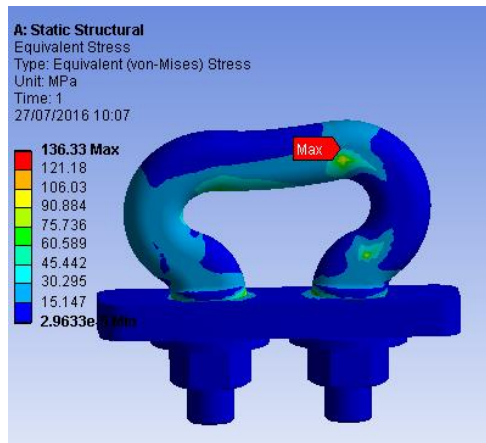
Gambar 4. 12 Meshing u-bolt chain dengan FEA

4.4.3.6 Tegangan dan Regangan

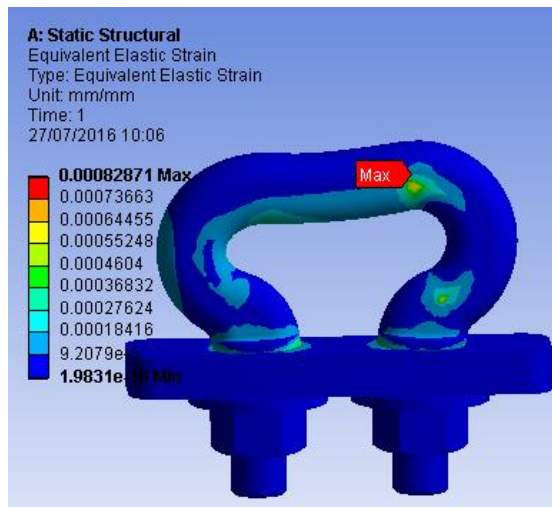
Tegangan dan regangan *equivalent*, yaitu tegangan dan regangan yang dihasilkan dari konsep *von mises*. Konsep *von mises* digunakan karena dapat menampilkan *output* secara keseluruhan dari tegangan dan regangan utama, dirumuskan dalam persamaan 4.1^[17]

$$\sigma = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

Gambar 4.13 merupakan hasil distribusi tegangan *equivalent* (*von mises*) *stress u-bolt chain bucket elevator*. Tegangan *equivalent* terbesar pada *link chain* sebesar 136.33 Mpa yang ditunjukkan oleh warna merah. Nilai tegangan terbesar masih berada jauh di bawah *yield strength* dari AISI 4130 sehingga kegagalan karena *overload* tidak terjadi.



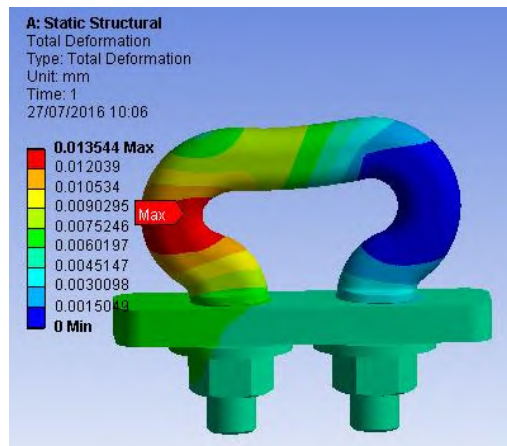
Gambar 4. 13 *Equivalent Stress u-bolt chain*



Gambar 4. 14 *Equivalent strain u-bolt chain*

Gambar 4.14 merupakan hasil pengaruh distribusi regangan *equivalent (von misses) strain u-bolt bucket elevator*. Regangan maksimum pada *chain* sebesar 0,00082 mm.

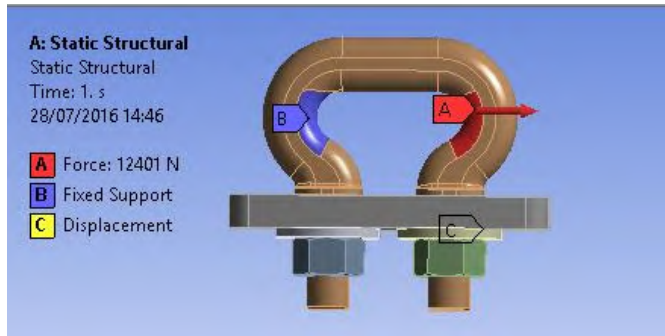
Gambar 4.15 merupakan hasil pengaruh deformasi total pada rantai akibat pemberian beban. Deformasi maksimum yang terjadi maksimal adalah sebesar 0,013mm. Chain mengalami tarikan kearah y, sehingga mengalami deformasi kearah sumbu y. Untuk mengetahui pengaruh pembebanan pada setiap bagian yang menyusun rantai dapat ditunjukkan dengan menggunakan fitur *show and hide other body* pada *software* FEA.



Gambar 4. 15 *Total Deformation u-bolt chain*

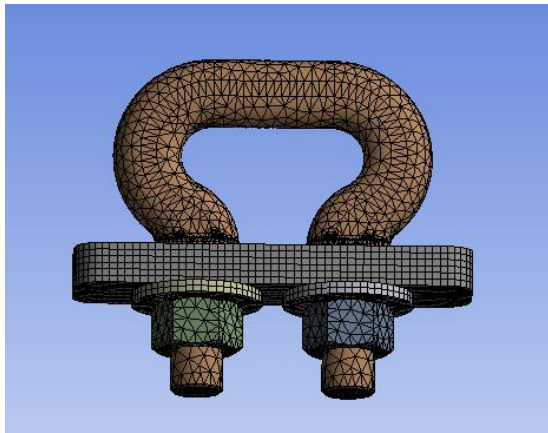
4.4.3.7 Simulasi Kondisi Operasional *U-bolt Chain*

Analisa struktural *chain* dilakukan untuk kedua kalinya dengan memperhatikan posisi gaya yang sebenarnya terjadi pada *u-bolt chain*. Gambar 4.16 menunjukkan bahwa *u-bolt chain* diberikan pembebanan, kondisi batas dan perpindahan rantai yang disimulasikan di model elemen hingga. akibat kontak langsung dengan *marine chain*. Langkah yang dilakukan sesuai dengan analisa struktural pada gambar 4.11. Hal ini dimaksudkan agar mengetahui kondisi aktual tegangan sebenarnya yang terjadi pada *u-bolt chains*.



Gambar 4. 16 Analisa kondisi sebenarnya

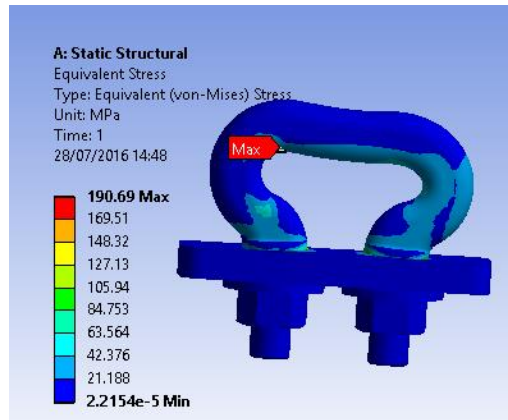
Meshing untuk gambar 4.17. berbentuk segitiga dan persegi dengan ukuran minimal $1,3 \times 10^{-2}$ mm, menghasilkan *mesh* dengan jumlah *nodes* 63870 dan jumlah *elements* 27401.



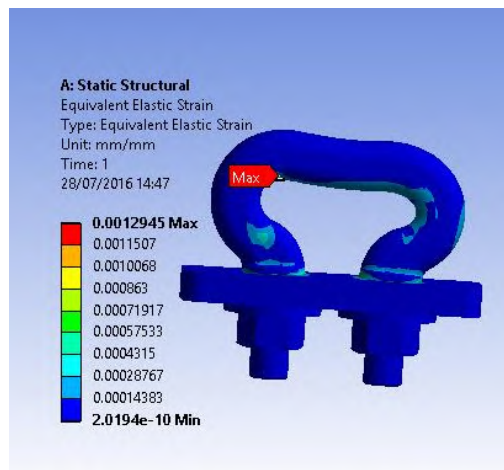
Gambar 4. 17 *Meshing u-bolt chain*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan *equivalent* (*von mises*) maksimum yang diterima sebesar 190.69 Mpa seperti pada gambar 4.18, tegangan mengalami kenaikan sebesar 54.36 Mpa. Simulasi menunjukkan bahwa tegangan terbesar berada pada

link chain tetapi distribusi tegangan juga terdapat pada daerah sekitar kaki *chain*. Hal ini mengindikasikan bahwa *u-bolt chain* juga mengalami tegangan yang diakibatkan oleh plat (*bucket*) akibat lubang *bucket* dengan baut yang mengalami *misalignment*.

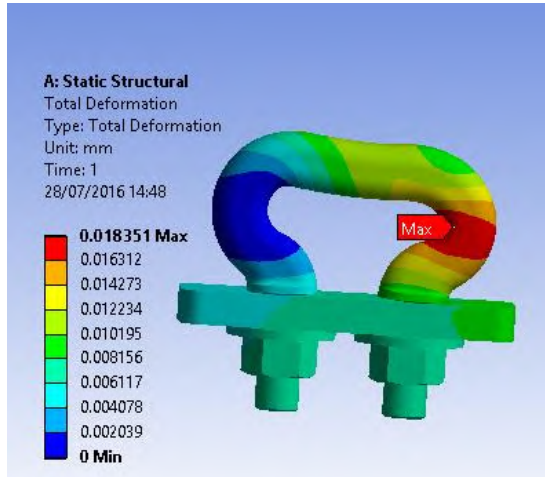


Gambar 4. 18 *Equivalent (von-Mises) Stress*



Gambar 4. 19 *Equivalent (von-Mises) Strain*

Gambar 4.19 merupakan regangan yang diterima *u-bolt chain* sebesar 0,0012mm. Hal ini menunjukkan bahwa *u-bolt* mengalami deformasi lebih cepat. Regangan mengalami kenaikan sebesar 0,00038mm.



Gambar 4. 20 *Total deformation*

Total deformation yang dialami *u-bolt* sebesar 0,018mm ditunjukkan pada gambar 4.20. Hal ini menunjukkan bahwa *u-bolt* mengalami kenaikan perubahan deformasi sebesar 0,005mm.

Tegangan *equivalent von misses* paling besar yang bekerja pada rantai ditunjukkan dengan warna merah yaitu berkisar antara $\sigma = 169.51-190.69$ Mpa Tegangan terbesar yang bekerja pada *link chain* diketahui sehingga gaya yang bekerja pada rantai dapat ditentukan.

- Luas penampang dari rantai adalah : $A = 245121 \text{ mm}^2 = 0,2451 \text{ m}^2$
- Gaya yang bekerja : $F = \sigma \times A = 190690 \text{ pa} \times 0,2451 \text{ m}^2 = 48454 \text{ N}$.

Tegangan *equivalent von misses* paling besar yang bekerja pada plat berada disekitar lubang kaki *chain*. Tegangan terbesar

yang bekerja pada plat diketahui sehingga gaya yang bekerja pada plat dapat ditentukan.

- Luas penampang dari plat adalah : $A = 17.722,55 \text{ mm}^2 = 0,017 \text{ m}^2$

- Gaya yang bekerja : $F = \sigma \times A = 190690 \text{ pa} \times 0,017 \text{ m}^2 = 3241 \text{ N}$

Tegangan *equivalent von misses* paling besar yang bekerja pada baut diketahui sehingga gaya yang bekerja pada baut dapat ditentukan.

- Luas penampang dari baut adalah : $A = 3804,18 \text{ mm}^2 = 0,003 \text{ m}^2$

- Gaya yang bekerja : $F = \sigma \times A = 190690 \text{ pa} \times 0,003 \text{ m}^2 = 572 \text{ N}$

Tegangan *equivalent von misses* paling besar yang bekerja pada *ring* diketahui sehingga gaya yang bekerja pada *ring* dapat ditentukan.

- Luas penampang dari *ring* adalah : $A = 4218,09 \text{ mm}^2 = 0,004 \text{ m}^2$

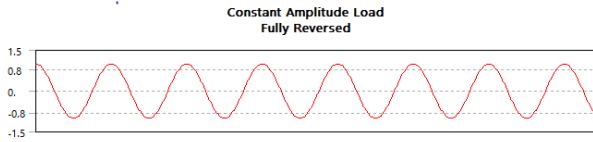
- Gaya yang bekerja : $F = \sigma \times A = 190690 \text{ pa} \times 0,004 \text{ m}^2 = 762 \text{ N}$

Tegangan lokal terbesar terjadi pada *link chain*, hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan gaya secara teoritis menunjukkan kesesuaian Hal tersebut mengindikasikan bahwa patah atau kegagalan terjadi pada *link chain bucket elevator*.

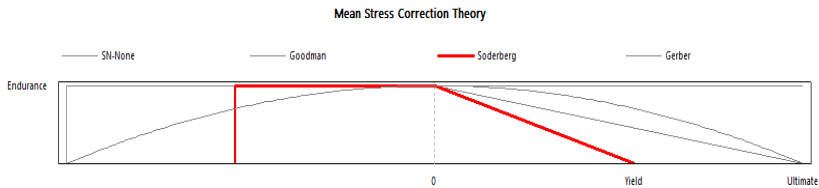
4.4.3.8 Penentuan Tegangan Lelah

Simulasi *fatigue* pada FEA menggunakan teori **Soderberg** pada gambar 4.18 dan **fully reversed** dengan amplitudo konstan ditunjukkan pada gambar 4.17. Gaya fluktuasi maksimum yang diterima *u-bolt chain* sebesar 12401 N hingga berdeformasi, sedangkan gaya fluktuasi minimum dapat dianggap nol karena rantai akan kembali kebentuk yang semula. Hal ini sesuai dengan persamaan 4.2^[17] :

$$(t) = -F_0 \sin(\omega t + \emptyset) = -12401 \sin(\omega t + \emptyset) \quad (4.2)$$

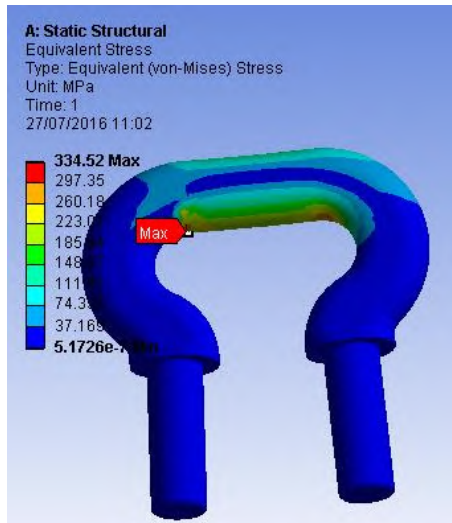


Gambar 4. 21 Amplitudo *fully reversed*



Gambar 4. 22 Teori Soderberg

Gambar 4.23 merupakan hasil pengaruh pembebanan lokal pada *u-bolt*. *U-bolt* disimulasikan untuk mengetahui tegangan terbesar yang diterima rantai, dengan diberi gaya tarik dan kondisi batas pada *link chain*. Hasil simulasi menunjukkan tegangan lokal terbesar pada *link chain* sebesar 334.52 Mpa, menunjukkan bahwa *link chain* masih dibawa *yield strength* material AISI 4130. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tidak terjadi *overload*. Tegangan maksimal rantai ditunjukkan dengan label warna merah, pada daerah tersebut awal mula terjadi patah/*crack* akan dimulai.

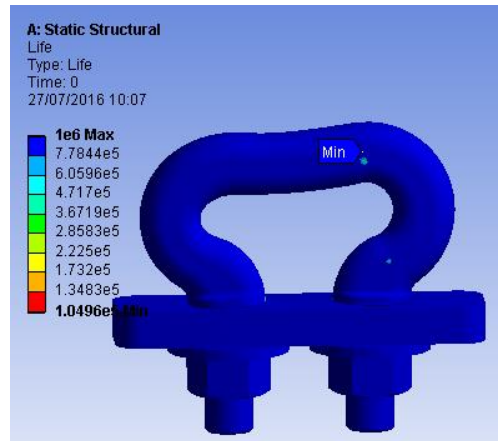


Gambar 4. 23 Pembebanan lokal *u-bolt*

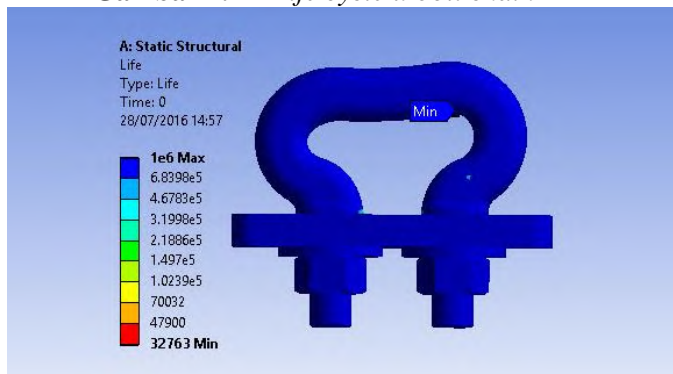
Distribusi lokal terbesar tegangan lelah terletak pada area *link chain*, berada disekitar kontak menempelnya *marine chain*. Keadaan tersebut sesuai dengan lokasi kegagalan *chain* yang sebenarnya ditunjukkan pada gambar 1.3.

4.4.3.9 Umur Tegangan Lelah

Distribusi umur tegangan lelah minimum yang diperoleh *u-bolt chain bucket elevator* sesuai dengan *finite elemen analysis* sebesar 104960 *cycle*. Pada gambar 4.24 distribusi umur tegangan lelah ditandai dengan warna merah, dimana lokasi umur tegangan lelah minimum pada *u-bolt chain bucket elevator* berada sesuai dengan tempat terjadinya kegagalan.



Gambar 4. 24 *Life cycle u-bolt chain FEA*



Gambar 4. 25 *Life cycle u-bolt chain*

Gambar 4.25 merupakan *lifecycle u-bolt chain* yang telah disimulasikan sesuai dengan letak gaya tarik yang diberikan marine chain dengan *finite elemen analysis* sebesar 32763 cycle.

Siklus umur tegangan leleh dikonversikan kedalam satuan waktu seperti hari. Asumsi perhitungan satu *cycle* adalah waktu satu kali rantai berputar dari sproket satu ke sproket yang lain

- Jarak yang ditempuh satu *link chain* : $13.6 \times 2 = 27.2 \text{ m}$

- Waktu 1 *cycle* = $\frac{27.2 \text{ m}}{1500 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 0,0181 \text{ hour}$
- 1 hari putaran yang ditempuh : 24 jam : 0,0181 jam = 1323 *cycle*/hari
- *Life* simulasi 1 = 104960 *cycle* : 1323 *cycle*/hari= 79 hari
- *Life* simulasi 2 = 32763 *cycle* : 1323 *cycle*/hari= 25 hari

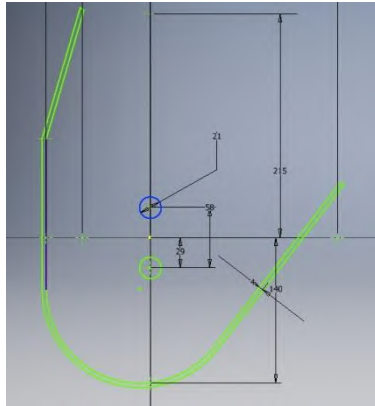
Hasil simulasi dengan FEA didapatkan umur rantai terhadap tegangan lelah sebesar 79 hari. Hasil yang didapatkan dari FEA mengalami perbedaan dengan simulasi keadaan nyata, sebesar 25 hari. Umur rantai hasil simulasi didapatkan selisih 54 hari. *Error relative* yang didapatkan dari perhitungan dan umur sebenarnya ada pada persamaan 4.3:

$$e = \left| \frac{79-25}{79} \right| = 68\% \quad (4.3)$$

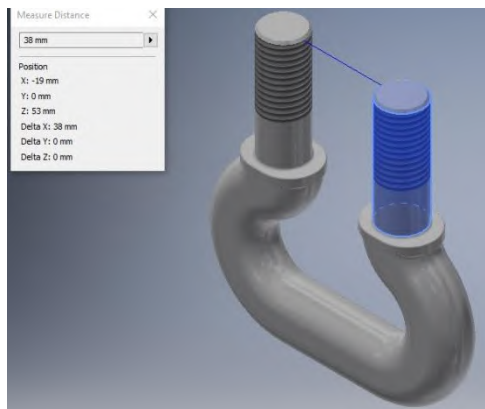
Error relative sebesar 68 % terjadi dikarenakan bedanya hubungan konstitutif tegangan regangan serta luas gaya tarik yang diberikan pada *u-bolt chain*.

4.4.3 Misalignment

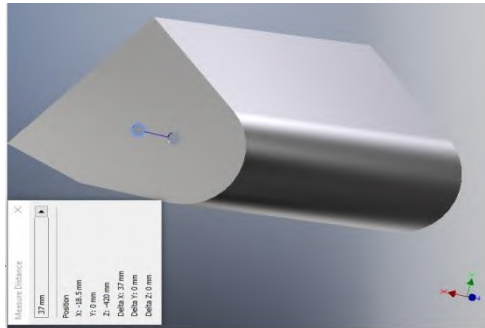
Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh pihak perawatan pabrik II PT.Petrokimia Gresik terjadi *misalignment* antara ketidaksejajaran lubang *bucket* dengan lubang baut terdapat selisih 1mm pada *bucket elevator*. Ketidaksejajaran terjadi karena adanya pembulatan dimensi. Ketidaksejajaran jarak lubang *bucket* dengan lubang *chain* sekitar 1 mm, sehingga pada keadaan nyata *chain* masih bisa dipasang pada *bucket*, tetapi menimbulkan tegangan dan regangan awal yang bekerja pada rantai walaupun belum dilakukan pembebanan tarik oleh *sprocket* maupun pengangkutan material phonska, sehingga dapat menambah kemungkinan terjadi kegagalan pada rantai. Gambar 4.26 menunjukkan *misalignment* yang terjadi pada bucket elevator pabrik II PT.Petrokimia Gresik.



a. Desain *bucket* berdasarkan gambar teknik



b. jarak antar kaki *chain*



c. jarak lubang kaki *chain* pada *bucket*

Gambar 4. 26 Misalignment

4.4.4 Shockload

Shockload terjadi karena pada saat operasional pengisian *bucket* mengalami pemberhentian selama 10 menit. Pada saat pengisian *bucket* mengalami tumbukan dengan material pupuk phonska, kemudian *running* kembali selama 15 menit begitu seterusnya. Timbunan phonska juga terjadi dikarenakan *feeding* phonska tidak stabil mengakibatkan material phonska keluar dari *bucket*, menempel pada *bucket* maupun *chain* dan juga tertimbun dibawah. Kondisi tersebut mengakibatkan laju korosi serta tegangan lelah lokal pada *u-bolt chain* sehingga mengindikasikan kegagalan pada rantai.

4.4.5 Kesalahan Fabrikasi

Kesalahan fabrikasi yang terjadi karena adanya kesalahan dalam pembuatan peralatan baik secara *design*, manufaktur dan pemasangan atau *assembly*. Kesalahan terjadi pada desain *bucket elevator* di pabrik II PT.Petrokimia Gresik. PT.Petrokimia Gresik membuat sendiri *bucket* yang dipasang pada rantai. Kesalahan terjadi pada gambar teknik dari *bucket elevator*. Pihak pabrik II membuat gambar teknik dengan menggunakan pembulatan saat membuat posisi lubang baut pada *bucket*. Kesalahan fabrikasi *bucket* dapat menyebabkan *twist* pada rantai.

4.5 Diskusi Hasil Analisa

1. Perhitungan secara teoritis menunjukkan hasil bahwa gaya yang bekerja pada rantai masih jauh dibawah *yield strength* material untuk rantai magma yaitu AISI 4130. Hasil analisa teoritis mengindikasikan *failure* tidak terjadi karena *overload*. Hasil perhitungan menunjukkan tegangan pada *link* rantai lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang diterima plat, *bolt* dan *ring*. Sehingga kerusakan pada rantai diawali dari kerusakan yang terjadi dibagian *link* rantai.
2. Analisa makroskopik pada *chain* mengindikasikan material mengalami *fatigue*. Hasil foto makroskopik menunjukan beberapa karakteristik makroskopik seperti adanya *beachmark* dan *ratchet marks*.
3. *Chain* mengalami beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* dalam waktu yang lama dan berulang-ulang (*fatigue*). Umur rantai dapat diketahui dengan simulasi *software FEA*. Dari simulasi terhadap pembebanan *fatigue* diketahui beban yang diterima *chain* sebesar 12401N dari perhitungan analitis, dengan estimasi 1 cycle membutuhkan waktu selama 0,018 jam sehingga didapatkan umur rantai terhadap pembebanan *fatigue* dalam satuan bulan.
4. Tegangan terbesar yang diterima oleh *link chain* disebabkan oleh tegangan tarik pada rantai yang terkontak langsung dengan *marine chain*. Daerah yang mengalami tegangan terbesar merupakan bagian yang mengalami *failure*/patah pada *u-bolt chain* yang digunakan oleh pabrik II PT.Petrokimia Gresik. Posisi tegangan terbesar pada hasil simulasi berada pada *link chain*, hal ini sudah sesuai dengan perhitungan secara teoritis.
5. *Shockload* pada saat operasional pengisian *bucket* mengalami pemberhentian setiap 10 menit kemudian *bucket* berjalan lagi selama 15 menit. Hal ini mengindikasikan terjadinya tumbukan dengan pupuk dikarenakan *feeding* yang tidak stabil. Kondisi tersebut mengakibatkan laju korosi serta tegangan lelah lokal pada *u-bolt chain* sehingga mengalami kegagalan lebih cepat.

6. Terjadi *misalignment* ketidaksejajaran antara lubang *bucket* dan lubang baut pada *bucket elevator*. *Misalignment* tersebut mengakibatkan terjadinya penambahan tegangan yang bekerja pada *u-bolt chain* sehingga dapat menambah kemungkinan terjadi kegagalan pada *u-bolt chain*.

7. Terjadi kesalahan fabrikasi dalam pembuatan peralatan baik secara *design*, manufaktur dan *assembly*. Pihak pabrik II PT.Petrokimia Gresik membuat gambar teknik *bucket elevator* dengan menggunakan pembulatan saat membuat lubang baut pada *bucket*. Kesalahan fabrikasi mengakibatkan *twist* pada *u-bolt chain*.

8. Solusi yang dapat diberikan antara lain :

❖ Memperbesar dimensi pada *link chain* yang mengalami tegangan paling besar.

4.6 Redesain Link Chain

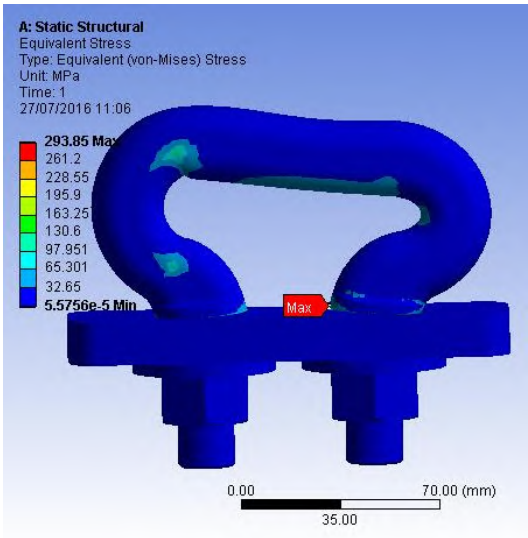
Redesain *chain* dilakukan dengan mengubah dimensi *u-bolt chain*, sehingga besar konsentrasi tegangan dapat diperkecil. Penulis melakukan redesain *chain* yang akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

4.6.1 Simulasi Redesain U-bolt Chain 1

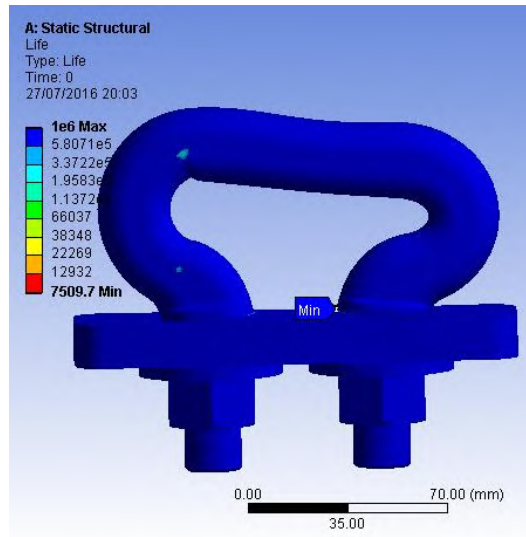
Redesain *chain* pertama dengan mengubah bentuk *link chain* sedikit melengkung (*smooth*), hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi konsentrasi tegangan pada *u-bolt chain* seperti pada gambar 4.27. *Link chain* diberikan analisa struktural seperti pada desain sebelumnya. *Meshing* pada redesain 1 mempunyai jumlah 61680 *nodes* dan 26800 *elements*. Redesain *chain* disimulasikan untuk mendapatkan penurunan tegangan maksimal (*stress*) dan umur (*lifetime*) yang diterima *u-bolt chain* lebih panjang terhadap pembebanan tegangan lelah (*fatigue test*).



Gambar 4. 27 Redesain *link chain* 1



Gambar 4. 28 Equivalent Stress Redesain 1



Gambar 4. 29 *Life time Redesain 1*

Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.28 *Equivalent stress* maksimum sebesar 293.85 MPa. Kenaikan tegangan maksimum sebesar 103.16 Mpa atau 54% dari desain yang lama. Lokasi tegangan maksimum dan konsentrasi tegangan berpindah pada area kaki *u-bolt*. Gambar 4.29 merupakan hasil *fatigue test* menunjukkan umur minimum pada *chain* sebesar 7509.7 cycle.

Umur = $\left(\frac{1 \text{ hari}}{1323 \text{ cycle}} \right) \times 7509.7 \text{ cycle} = 6 \text{ hari}$. Terjadi penurunan umur *u-bolt chain* sebesar 18 hari atau 75% dari desain lama. Hal ini mengindikasikan bahwa redesain *chain 1* tidak dapat dijadikan rekomendasi.

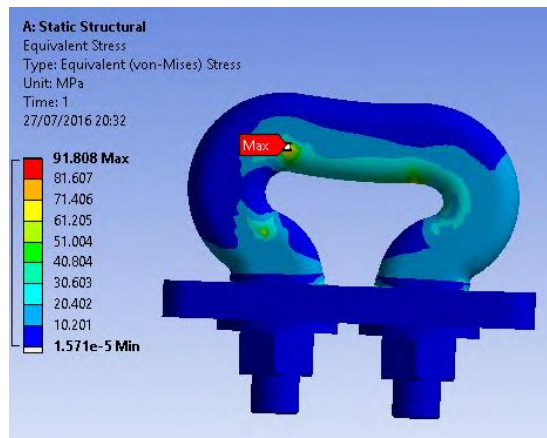
4.6.3 Simulasi Redesain *U-bolt Chain 2*

Redesain *chain* ketiga dengan menambah ukuran dimensi *chain* dari 26mm menjadi 33,5mm, luas area yang besar mengindikasikan tegangan dapat diperkecil. Pada gambar 4.30 merupakan redesain *link chain* yang ketiga. *Meshing* untuk rantai ketiga mempunyai jumlah 45643 *nodes* dan 17407 *elements*.

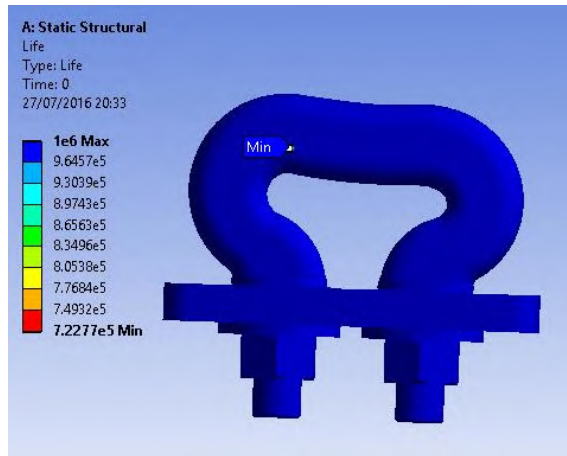
Redesain *chain* 2 disimulasikan untuk mendapatkan tegangan maksimal (*stress*) yang kecil dan umur (*lifetime*) yang diterima *u-bolt chain* lebih panjang terhadap pembebanan tegangan lelah(*fatigue test*).



Gambar 4. 30 Redesain *link chain* 2



Gambar 4. 31 *Equivalent stress* pada *u-bolt chain*

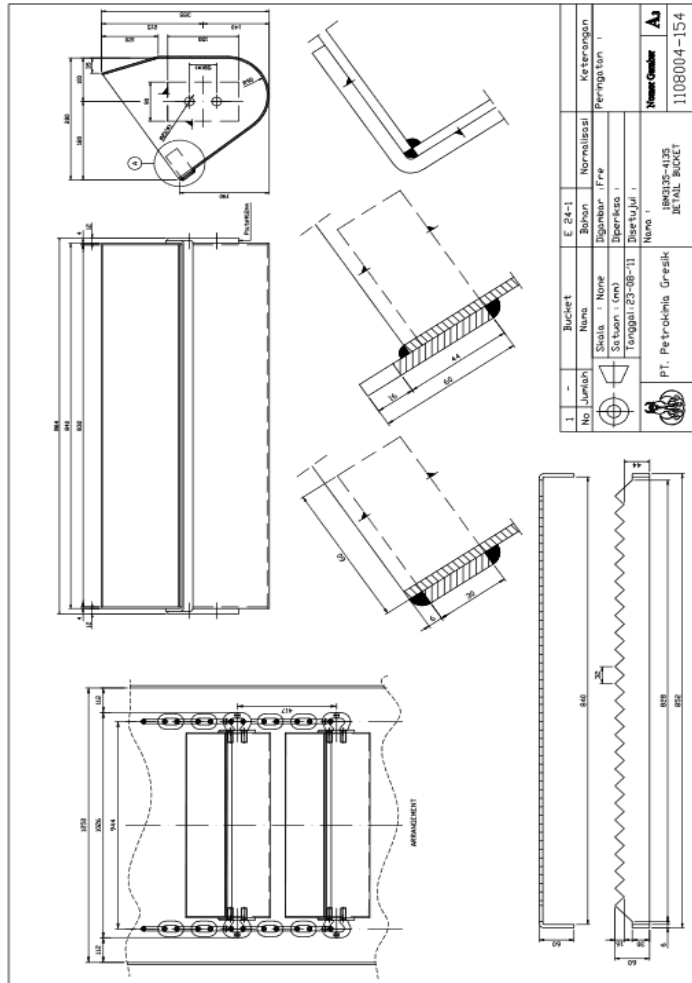


Gambar 4.32 *Life time* Redesain 2

Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.31. *Equivalent stress* maksimum sebesar 91.808 MPa. Penurunan tegangan maksimum sebesar 98 Mpa atau 51% dari desain yang lama. Lokasi tegangan maksimum berada pada area *link u-bolt chain*. Gambar 4.31 merupakan hasil *fatigue test* menunjukkan umur minimum pada *chain* sebesar 722770 *cycle*. Umur = $\left(\frac{1 \text{ hari}}{1323 \text{ cycle}}\right) \times 722770 \text{ cycle} = 475 \text{ hari}$. Terjadi peningkatan umur *u-bolt chain* sebesar 451 hari atau 1879% dari desain lama. Hal ini mengindikasikan bahwa redesain *chain 2* dapat dijadikan rekomendasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Gambar teknik bucket elevator M4135 PT.Petrokimia
Gresik**



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil investigasi kerusakan *u-bolt chain* pada *bucket elevator* pabrik II PT.Petrokimia Gresik berdasarkan analisa dan simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan secara analitis didapatkan gaya yang diterima *bucket* sebesar 12401 N. Hasil analisa mengindikasikan *u-bolt* tidak mengalami overload.
2. Hasil analisa makroskopik menunjukkan karakteristik pola patahan akibat *fatigue*, hal ini sesuai dengan simulasi FEA bahwa material mengalami *fatigue* sebelum patah.
3. Simulasi pada *u-bolt* tanpa menggunakan *bucket* menunjukkan tegangan yang sangat besar meskipun dibawah titik *yield strength* namun beban *u-bolt* yang diterima fluktuatif maka dengan beban sebesar 12401 N umur *u-bolt* sangat pendek (4hari).
4. Simulasi menggunakan *bucket* sebagai pegangan baut *u-bolt* menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi menurun, namun umur *u-bolt* lebih panjang dari kenyataannya.
5. Pemendekan umur *u-bolt* dibandingkan kenyataannya diakibatkan *clearance* pada lubang baut.
6. Solusi yang diberikan yaitu redesain *u-bolt chain* 2 dengan mengubah dimensi pada bagian yang mengalami tegangan terbesar yaitu dari 26mm menjadi 33,5mm. Dengan adanya perubahan desain *u-bolt chain* terjadi penurunan tegangan maksimum yang diterima rantai sebesar 51%. Kenaikan umur *chain* terhadap beban *fatigue* sebesar 451 hari.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak pemeliharaan PT.Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut :

1. Agar tidak terjadi kegagalan karena patah pada *u-bolt chain* maka dilakukan desain ulang dengan menambahkan dimensi pada daerah *link chain* tanpa merubah standarisasi material AISI 4130.
2. *Clearance* pada lubang *bucket* disesuaikan dengan lubang baut pada rantai, serta jarak lubang *chain* disesuaikan dengan lebar kaki *chain* agar tidak terjadi *twist* pada rantai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rijal,Samsul dkk.2016.**Data Sheet Downtime Bucket Elevator**. Gresik,Indonesia : Pemeliharaan Pabrik II PT.Petrokimia Gresik
- [2] Joewono, Ari. **Kapasitas dan Daya Pada Conveyor**.Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3] Bhushan, Bharat. 2001. **Modern Tribology Handbook Volume One**. Danvers : USA
- [4] Akuan, Abrianto.2007. **Kelelahan Logam. Jurusan Teknik Metalurgi**. Bandung: Universitas Jenderal Ahmad Yani
- [5] Hatta, Ilham.2012. **Aplikasi Mikro Analisis dan Fraktografi untuk Menentukan Kualitas Produk dan Penyebab Kerusakan Suatu Komponen**.Serpong: Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur
- [6] Mutiarani, Aulia. 2013. **Studi Analisa Kegagalan Sudu Turbin Bertekanan Tinggi Pada Pesawat Terbang BOEING 737-400**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [7] Anselmo, Clay. 2012. **Failure Investigation and Root Cause Analysis**. Reglra Presentation
- [8] Jagtap M.D., Gaikwad B.D.,Pawar P.M. 2014. **Study of roller conveyor chain strip under tensile**

loading. India : Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Pandharpur, Solapur University.

[9] Danuputro, Sebastianus Dwi.2015. **Investigasi Penyebab Kerusakan Chain Bucket elevator Pada 7th Finish Mill Transport System Area di Tuban IV PT. Semen Gresik**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

[10] Bhoite T., Pawar p., dan Gaikwad B. 2012. ***FAE Based Study of Effect of Radial Variation of Outer Link in A Typical Roller Chain Link Assembly***. India : International Journal of Mechanical Engineering and Industrial Engineering (IJMIE).

[11] **Database PT.Petrokimia Gresik**,Jawa Timur.

[12] Kerremans dkk. 2011. ***Wear of conveyor chain with polymer roller, in sustainable construction and design***.

[13] ASM Metals Handbook. ***Standard Carbon Steel***. AISI 4130

[14] Shemenski,R.M. 1974. ***Fractography of Steel Drive Cables***. USA : ASM Handbook of Failure Analysis.

[15] ASM International.2005. ***FRACTURE FEATURES***. USA. ASM International Handbook Committee.

- [16] Fauzi, Iman.2014. **Prediksi Kegagalan Lelah Pada Komponen Karet Rubber Journal** Buatan Nasional. Bandung. *Departement of Mechanical Engineering*.
- [17] Learning Engineering.2012. *von misses stress*.
<http://www.learnengineering.org/2012/12/what-is-von-mises-stress.html>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Miladia Malinda dilahirkan pada tanggal 02 September 1994 di Surabaya. Merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Sholeh dan Subaidah. Penulis menenyam pendidikan dasar dan menengah di SDN Pacar Keling IV-I85, Surabaya. SMPN 6 dan SMAN 15, Surabaya.

Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur PMDK Prestasi, dengan mengambil bidang studi Sistem Manufaktur. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Astra Honda Motor, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Petrokimia Gresik.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi staff HRD MMC 2013-2014, Kabiرو Kewirausahaan 2014-2015. Semasa di bangku perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan kepanitiaan di tingkat jurusan, fakultas, dan institut. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri, kegiatan, dan organisasi. Selain itu, penulis juga menjadi asisten untuk Praktikum Dinamika Teknik. Penulis dapat dihubungi melalui *email* berikut : ***miladia41@gmail.com***